

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :  
G01B 9/02, G01N 21/45

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/22198

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum: 6. Mai 1999 (06.05.99)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH98/00456

(22) Internationales Anmeldedatum: 23. Oktober 1998 (23.10.98)

(30) Prioritätsdaten:  
2470/97 23. Oktober 1997 (23.10.97) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ECOLE  
POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE  
[CH/CH]; Laboratoire d'Optique Appliquée, Ecublens,  
CH-1015 Lausanne (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LINDGREN, Goesta, Fredrik  
[SE/SE]; Luthens Gränd 4B, S-118 66 Stockholm (SE).  
SALATHE, René, Paul [CH/CH]; Chemin de la Plantaz  
25, CH-1024 Ecublens (CH). WAELTI, Rudolf [CH/CH];  
Hubacherweg 33, CH-3097 Liebefeld (CH).

(74) Anwalt: ROSHARDT, Werner, A.; Keller & Partner Paten-  
tanwälte AG, Zeughausgasse 5, Postfach, CH-3000 Bern 7  
(CH).

(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH,  
CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL,  
PT, SE).

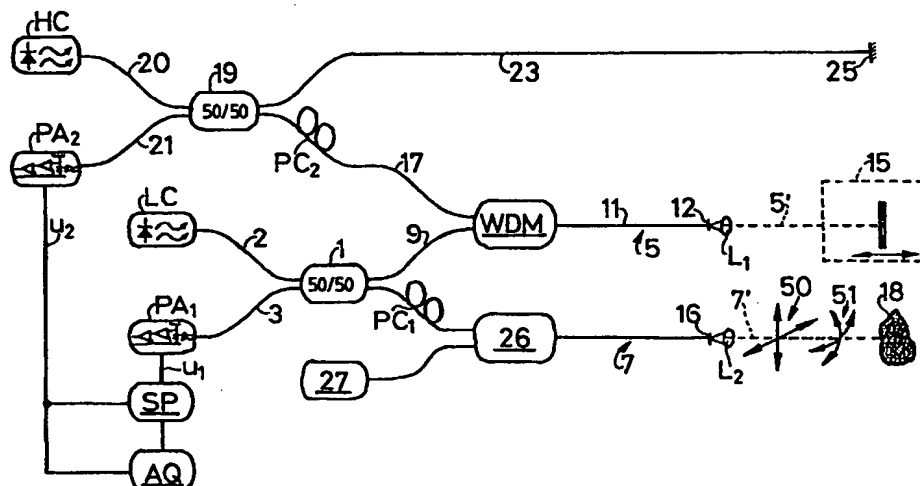
Veröffentlicht  
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING THE OPTICAL PROPERTIES OF TRANSPARENT AND/OR DIFFUSIVE  
OBJECTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG VON OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN TRANSPARENTER  
UND/ODER DIFFUSIVER GEGENSTÄNDE

(57) Abstract

The inventive method for measuring the optical properties of transparent and/or diffusive objects (18), especially their reflection profile, uses two coupled interferometers. Said coupled interferometers are operated with two beams of different coherence lengths. The object to be measured (18) is exposed to the beam with the short coherence length. A path length variation unit (15) is located in the common branch of the two interferometers. This unit impresses a double frequency on both beams, and this double frequency is then evaluated. A device for carrying out the method can be used especially as a reflectometer, preferably for applications in the area of surface diagnosing, optical tomography and photometry, as a high-dynamic means of determining optical properties with a high signal-noise ratio.



### (57) Zusammenfassung

Das Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände (18), insbesondere deren Reflexionsprofil, arbeitet mit zwei gekoppelten Interferometern. Die gekoppelten Interferometer werden mit zwei Strahlungen unterschiedlicher Kohärenzlänge betrieben. Der auszumessende Gegenstand (18) wird mit der Strahlung kleiner Kohärenzlänge bestrahlt. Im gemeinsamen Zweig beider Interferometer ist eine Weglängenvariationseinheit (15) angeordnet, welche beiden Strahlungen eine Dopplerfrequenz aufprägt, welche ausgewertet wird. Eine das Verfahren verwirklichende Vorrichtung kann insbesondere als Reflektometer für bevorzugte Anwendungen im Bereich der Oberflächendiagnostik, der optischen Tomographie und der Photometrik verwendet werden, mit welcher optische Eigenschaften mit einer hohen Dynamik bei einem grossen Signal-Rausch-Verhältnis bestimmbar sind.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

5

10

## **Verfahren und Vorrichtung zur Messung von optischen Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände**

### **15 Technisches Gebiet**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände, insbesondere deren Reflexions- und/oder Transmissionsfaktors als Abstandfunktion (Reflexions- bzw. Transmissionsprofil). Unter den messbaren optischen Eigenschaften werden die aus diesen Profilen  
20 ableitbaren Grössen verstanden; wie z.B. der (optische) Abstand von Oberflächen, Grenzflächen oder Störstellen voneinander, der Brechungsindex des Gegenstandsmaterials, die polarisierenden Eigenschaften des Materials sowie dessen Absorptions- und Diffusionskoeffizient.

Die Transparenz von Gegenständen hängt von deren wellenlängenabhängigen  
25 Schwächungskoeffizienten  $\alpha$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] und deren Dicke bzw. der vorgegebenen Messstrecke  $d$  ab. Als transparent werden Gegenstände bezeichnet, deren Transmissionsfaktor  $T = \exp(-\alpha \cdot d)$  noch innerhalb des Messbereichs der unten beschriebenen Interferometer liegt, wobei die Transmission bei den unten beschriebenen Interferometern  $T^2$  infolge des "Hin- und Rückweges" der Strahlung ist. In diffusiven Gegenständen wird Strahlung stark gestreut,

nicht notwendigerweise absorbiert. Beispielsweise sind als diffusive Gegenstände Milchglasscheiben, Delrin, organische Gewebe (Haut, menschliche und tierische Organe, Pflanzenteile etc.) anzusehen.

### **Darstellung der Erfindung**

#### **5 Aufgabe der Erfindung**

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung, insbesondere als Reflektometer für bevorzugte Anwendungen im Bereich der Oberflächendiagnostik, der optischen Tomographie und der Photometrik zu schaffen, mit welcher optische Eigenschaften mit einer hohen Genauigkeit, hoher Dynamik sowie einem kleinstmöglichen, lediglich durch Schrotrauschen  
10 begrenzten Rauschpegel bestimmbar sind.

#### **Lösung der Aufgabe**

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass mit zwei gekoppelten Interferometern gearbeitet wird. Eines der beiden Interferometer hat eine Strahlungsquelle kleiner Kohärenzlänge und das andere eine Strahlungsquelle mit einer grossen Kohärenzlänge. Die verschiedenen Arme jedes Interferometers sind derart ausgebildet, dass ihre optische Weg-  
15 längendifferenz innerhalb der Kohärenzlänge der betreffenden Strahlung liegt. Eine kleine Kohärenzlänge wird von einer Strahlungsquelle mit einer grossen spektralen Breite ihrer Strahlung erhalten und eine grosse Kohärenzlänge von einer Strahlungsquelle mit einer schmalbandigen Strahlung. Der auszumessende Gegenstand ist im Messzweig des "breit-  
20 bandigen" Interferometers angeordnet und ein feststehender Spiegel in einem Zweig des "schmalbandigen" Interferometers. Ein gemeinsamer Zweig als Referenzzweig beider Interferometer beinhaltet eine Weglängenvariationseinheit.

Die Weglängenvariationseinheit variiert periodisch die Weglänge im Referenzzweig und zwar mit einer derartigen Geschwindigkeit, dass Messsysteme mit der hierbei erzeug-  
25 ten Dopplerverschiebung der Strahlungsfrequenz arbeiten können.

Eine Auswertung der Interferenzsignale des "schmalbandigen" Interferometers erlaubt die Weglängenänderungen im Referenzzweig und damit die positionsartige Zuordnung der Signale im Messzweig vorzunehmen. Bekannte Methoden der Positionsbestimmung des Weglängenvariationselements, beispielsweise durch Encoder oder durch opti-

sche Hilfsstrahlen zur Ermittlung der Winkelposition bei z. B. einem rotierenden Würfel, werden hierdurch überflüssig.

Durch eine bevorzugte Auswertung der Phasenlage zwischen den beiden Interferenzsignalen, erzeugt von der Strahlungsquelle hoher bzw. kleiner Interferenzlänge, ist eine  
5 signifikante Genauigkeitserhöhung bei der augenblicklichen Weglänge des Referenzzweigs möglich. Die Dopplerverschiebungsfrequenzen können hierzu einander angeglichen werden. Eine derartige Angleichung kann elektrisch oder auch optisch erfolgen, wie unten ausgeführt wird.

Durch die Verwendung zweier Interferometer mit Strahlungen unterschiedlicher Kohärenzlängen wird im Messzweig nur Strahlung ausgewertet, welche innerhalb der kurzen  
10 Kohärenzlänge liegt. In diffusiven Stoffen, wie z. B. biologischem Gewebe, kann somit wirkungsvoll Streustrahlung eliminiert werden.

Arbeitet die erfindungsgemässe Vorrichtung mit wenigstens einer Strahlungsquelle im sichtbaren Spektralbereich (Wellenlänge zwischen  $0,4\ \mu\text{m}$  und  $0,7\ \mu\text{m}$ ), so kann deren  
15 Strahlung zur Visualisierung des Messorts als "Zielstrahl" verwendet werden. Als Strahlungsquelle eignen sich hierzu insbesondere Diodenlaser, He-Ne-Laser etc..

Eine beispielsweise Weglängenvariationseinheit wird unten beschrieben. Die dort beschriebene Einheit weist eine nahezu konstante Änderungsgeschwindigkeit auf. Diese Konstanz ist jedoch für den Messvorgang bzw. dessen Auswertung nicht zwingend.

20 Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der untenstehenden Beschreibung.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend werden Beispiele der erfindungsgemässen Vorrichtung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein optisches Blockschaltbild einer erfindungsgemässen Vorrichtung zur beispielsweise  
25 Verwirklichung des erfindungsgemässen Verfahrens,

Fig. 2 eine beispielsweise Weglängenvariationseinheit mit einem rotierenden Würfel der in **Figur 1** dargestellten Vorrichtung,

Fig. 3 in der oberen Abbildung eine Weglängendifferenz  $\Delta s$  [mm] über dem Drehwinkel  $\alpha$  der in **Figur 2** dargestellten Weglängenvariationseinheit mit einer Seitenlänge  $l_x$  von  
30 30 mm, einem Abstand  $e$  von 13 mm des einfallenden Strahls  $5'$  vom Rotationszen-

trum 37 des Würfels und einem Brechungsindex  $n_0$  des Materials des Würfels von 1,5, wobei die gestrichelten Kurvenwerte Werte angeben, welche mit der in **Figur 2** dargestellten Einheit nicht erreichbar sind, da deren Oberflächen ausgehend von jeweils einer Kante eine teilweise Beschichtung aufweisen; die untere Kurve zeigt die hierzu gehörende Weglängenänderungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Drehwinkels  $\alpha$ .

Fig. 4 ein Blockschaltbild der elektronischen Auswerteschaltung der in **Figur 1** dargestellten Vorrichtung,

Fig. 5 eine Darstellung beispielsweise elektrischer Signale, wie sie mit der in **Figur 4** dargestellten elektrischen Schaltungsanordnung beim Ausmessen eines beispielsweise Messgegenstands erhältlich sind,

Fig. 6 eine Darstellung einer Schaltungsanordnung für die Signalauswertung, wobei die Dopplerfrequenzen  $f_{\text{Doppler, LC}}$  und  $f_{\text{Doppler, HC}}$  elektronisch einander angeglichen werden,

Fig. 7 ein optisches Blockschaltbild zur Realisierung des erfindungsgemässen Verfahrens mit nur einer Strahlungsquelle,

Fig. 8 eine Variante zu dem in **Figur 7** dargestellten Blockschaltbild,

Fig. 9, 10 und 11 Varianten zu der in **Figur 1** dargestellten optischen Anordnung,

Fig. 12 ein Detektionssystem mit elektrischer Signaltrennung,

Fig. 13 ein Detektionssystem mit optischer Signaltrennung, wie es in den optischen Anordnungen der **Figuren 7** und **8** einsetzbar ist,

Fig. 14 ein Blockschaltbild einer Ausführungsvariante der Vorrichtung gemäss **Figur 1**, welche im Gegensatz zur dortigen Darstellung in einem Auskoppelarm mehrere Detektionseinheiten hat,

Fig. 15 ein Blockschaltbild zu einer weiteren Ausführungsvariante gemäss **Figur 14** jedoch mit mehreren Strahlungsquellen und

Fig. 16 einen Querschnitt durch eine Faser, welche als Anordnung mit mehreren Strahlungsquellen wirkt.

## Wege zur Ausführung der Erfindung

In **Figur 1** ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände unter Verwendung optischer Symbole blockschaltungsartig dargestellt. Die in **Figur 1** dargestellte optische Anordnung weist zwei optisch gekoppelte Michelson-Interferometer auf. Beide Interferometer sind soweit wie nur möglich unter Verwendung von Strahlungsleitern ausgebildet.

Ein erstes Michelson-Interferometer weist einen Koppler **1** auf, der die Interferometerzweige jeweils zu 50% koppelt. An den Koppler **1** ist über einen Strahlungsleiter **2** eine lichtemittierende Diode [LED] **LC** als Strahlungsquelle mit einer kurzen Kohärenzlänge (breitbandiges Strahlungsspektrum mit beispielsweise einer "Mittenwellenlänge"  $\lambda_{LC}$  von 1310 nm) angeschlossen. Die Kohärenzlänge einer derartigen Strahlungsquelle beträgt bei den hier verwendeten "Mittenwellenlängen" bevorzugt 10  $\mu\text{m}$  bis 15  $\mu\text{m}$ . Ein Strahlungsdetektor **PA<sub>1</sub>** für die Strahlung der Strahlungsquelle **LC** ist über einen Strahlungsleiter **3** mit dem Koppler **1** verbunden. Die Strahlung der Strahlungsquelle **LC** wird mit dem Koppler **1** in einen Referenzzweig **5** und in einen Messzweig **7** annähernd gleichmässig aufgeteilt. Die Strahlung im Referenzzweig **5** läuft über einen Strahlungsleiter **9**, ein Element **WDM**, einen weiteren Strahlungsleiter **11** zu dessen Leiterende **12**. Die aus dem Leiterende **12** austretende Strahlung wird mit einem Abbildungssystem **L<sub>1</sub>**, welches hier lediglich symbolisch als Einzellinse **L<sub>1</sub>** dargestellt ist, als freier Strahl **5'** auf eine bzw. in eine Weglängenvariationseinheit **15** geführt. Die Strahlung wird dort reflektiert und läuft den gesamten Weg über die Komponenten **L<sub>1</sub>**, **11**, **WDM** und **9** wieder zurück und wird im Koppler **1** mit der vom Gegenstand **18** reflektierten Strahlung überlagert. Dabei entsteht ein Interferenzsignal, sofern die optischen Distanzen im Referenzzweig **5** (Distanz zwischen dem Koppler **1** und dem Reflektor **30** der Weglängenvariationseinheit **15**) und im Messzweig **7** (Distanz zwischen dem Koppler **1** und einem Strahlung reflektierenden und/oder streuenden Ort im oder auf dem Gegenstand **18**) innerhalb der Kohärenzlänge der Strahlung **LC** gleich gross sind. Die reflektierte und/oder gestreute Strahlung wird im Koppler **1** zur Strahlungsquelle **LC** und zum kohärent detektierenden Strahlungsdetektor **PA<sub>1</sub>** hin aufgeteilt, wobei später nur die vom Detektor **PA<sub>1</sub>** detektierte Strahlung berücksichtigt wird.

Das Element **WDM** ("fiber optic wavelength division multiplexer, auf deutsch Wellenlängen-Multiplexer bzw. Wellenlängen-Demultiplexer) ist ein optisches Element, welches die im Strahlungsleiter **9** ankommende Strahlung kleiner Kohärenzlänge mit einer Mitten-

wellenlänge  $\lambda_{LC}$  mit der in einem Strahlungsleiter 17 ankommenden Strahlung mit grosser Kohärenzlänge und einer Mittenwellenlänge  $\lambda_{HC}$  vereinigt und beide, von der Weglängenvariationseinheit 15 reflektierte Strahlungen wieder in ihre ursprünglichen Leiter 9 bzw. 17 aufteilt.

5 Die Strahlung im Messzweig 7 durchläuft ausgehend vom Koppler 1 einen Polarisationskontroller  $PC_1$ , wird nach dem Austritt aus dem Strahlungsleiterende 16 mit einer Abbildungsoptik  $L_2$ , welche auch hier durch eine Linse angedeutet ist, in einen freien Strahl 7' geformt und auf bzw. in den auszumessenden Gegenstand 18 geführt und von dessen Oberflächen oder sonstigen, lagemässig auszumessenden, optischen "Störstellen" reflektiert bzw. gestreut. Der Polarisationskontroller  $PC_1$  dient zur Anpassung des Polarisationszustandes der reflektierten Strahlung vom Gegenstand 18 und derjenigen vom Referenzzweig 5 im Zweig 3 zum Detektor  $PA_1$ .

Ein zweites Michelson-Interferometer hat ebenfalls einen Koppler 19, der eine Kopplungsaufteilung von jeweils 50% bewirkt. An den Koppler 19 ist über einen Strahlungsleiter 20 ein Distributed-Feedback Laser als Strahlungsquelle HC angeschlossen. Die Strahlungsquelle HC hat im Gegensatz zur Strahlungsquelle LC eine grosse Kohärenzlänge (schmalbandiges Strahlungsspektrum mit beispielsweise einer "Mittenwellenlänge"  $\lambda_{HC}$  von 1550 nm). Idealerweise entspricht hier die Kohärenzlänge der Strahlungsquelle HC der einfachen bis doppelten maximalen Weglängenänderung in der Einheit 15. Man wählt vorzugsweise die optische Distanz im unten erwähnten Strahlungsleiter 23 gleich der optischen Weglänge bis zum Reflektor 30 der Weglängenvariationseinheit 15 in deren "Mittelstellung" (die Hälfte der maximalen möglichen Weglängenänderung). Es werden hierdurch störende Echos weiterer Grenzflächen optimal unterdrückt. Derartige Echos können jedoch auch durch Entspiegelungsschichten auf den Grenzflächen der optischen Elemente (Lin-  
20 sen  $L_1$ ,  $L_2$  etc.), sowie der Strahlungsleiterenden (12, 16 etc.) unterdrückt werden. Eine Unterdrückung kann auch durch schräges Anschleifen der Strahlungsleiterenden erreicht werden. Die tatsächliche Kohärenzlänge dieser Strahlungsquelle HC hängt von ihrer Bauart ab; sie liegt typischerweise zwischen 0,1 m und 100 m.

Ein Strahlungsdetektor  $PA_2$  für die Strahlung der Strahlungsquelle HC ist über einen Strahlungsleiter 21 mit dem Koppler 19 verbunden. Der Messzweig des zweiten Interferometers weist ausgehend vom Koppler 19 einen Polarisationskontroller  $PC_2$  und den Strahlungsleiter 17 auf und geht dann über das optische Element WDM in den bereits oben beschriebenen Referenzzweig 5 über. Ein weiterer Zweig des zweiten Interferometers geht  
30



über einen Strahlungsleiter **23** auf einen feststehenden Spiegel **25**, der die Strahlung in den Strahlungsleiter **23** rückreflektiert (Kalibrierzweig). Der feststehende Spiegel **25** ist beispielsweise als metallische Endverspiegelung des Strahlungsleiters **23** ausgebildet. Die vom feststehenden Spiegel **25** reflektierte Strahlung wird der von der Weg-

5      längenvariationseinheit **15** reflektierten Strahlung im Koppler **19** überlagert (Erzeugung eines Interferenzsignals). Das überlagerte Signal (Interferenzsignal) wird mit dem Strahlungsdetektor **PA<sub>2</sub>** detektiert. Der Polarisationskontroller **PC<sub>2</sub>** dient zur Anpassung des Polarisationszustandes der reflektierten Strahlung vom Zweig **5** (Referenzzweig) mit dem Polarisationszustand der reflektierten Strahlung vom feststehenden Spiegel **25** im Zweig **21**  
10      zum Detektor **PA<sub>2</sub>**.

Die beiden oben aufgeführten Strahlungsquellen **LC** und **HC** arbeiten hier beispielsweise im infraroten Bereich, d.h. deren Strahlung ist nicht sichtbar. Um dennoch visuell feststellen zu können, welcher Ort des Gegenstands **18** ausgemessen wird oder ausgemessen werden soll, kann der Messstrahl mit einem sichtbaren Strahl vereinigt werden.

15      Diese Vereinigung erfolgt über einen Koppler **26**, mit dem die Strahlung eines sichtbaren Lasers, beispielsweise eines He-Ne-Lasers **27**, eingekoppelt wird. Als Koppler kann auch eine dem **WDM** ähnliche Einheit verwendet werden.

Die unten beschriebene Weglängenvariationseinheit **15** erzeugt nun eine (nahezu konstante) Weglängenänderung über ein Zeitintervall. Diese nahezu konstante periodische  
20      Weglängenänderung ist jedoch für das erfindungsgemässe Messverfahren nicht zwingend. Infolge dieser Weglängenänderung ergibt sich eine Dopplerfrequenz  $f_{\text{Doppler, HC}}$  bzw.  $f_{\text{Doppler, LC}}$  der jeweiligen von der Weglängenvariationseinheit **15** reflektierten Strahlung mit den Wellenlängen  $\lambda_{\text{HC}}$  und  $\lambda_{\text{LC}}$  von

$$f_{\text{Doppler, HC}} = 2 \cdot v_{\text{scan}} / \lambda_{\text{HC}}$$

25      bzw.

$$f_{\text{Doppler, LC}} = 2 \cdot v_{\text{scan}} / \lambda_{\text{LC}}$$

wobei  $v_{\text{scan}}$  die Geschwindigkeit ist, mit der die Weglänge durch die Weglängenvariationseinheit **15** geändert wird. Ist  $v_{\text{scan}}$  konstant, so ergibt sich auch eine konstante Dopplerfrequenz  $f_{\text{Doppler}}$ . Sollten Nichtlinearitäten in der Weglängenvariationsgeschwindigkeit  $v_{\text{scan}}$  auftreten, so werden beide Dopplerfrequenzen  $f_{\text{Doppler, HC}}$  und  $f_{\text{Doppler, LC}}$  im gleichen Sinne be-  
30      troffen. Diese Schwankungen werden mittels der unten aufgeführten Differenzenbildung in

der elektronischen Schaltungsanordnung **SP** durch eine Angleichung der beiden Dopplerfrequenzen  $f_{\text{Doppler, HC}}$  und  $f_{\text{Doppler, LC}}$  minimiert, gemäss

$$f_{\text{Doppler, LC}} - f_{\text{Doppler, HC}} = f_{\text{Doppler, LC}} (1 - k); \quad k = f_{\text{Doppler, HC}} / f_{\text{Doppler, LC}} = \lambda_{\text{LC}} / \lambda_{\text{HC}}.$$

Als Weglängenvariationseinheit **15** kann ein kontinuierlich verschiebbarer Spiegel verwendet werden. In **Figur 2** ist eine Anordnung einer Weglängenvariationseinheit **15**, wie sie beispielsweise in der WO 96/35100 beschrieben ist, mit einem Reflektor **30** in gegenüber **Figur 1** vergrösserter Darstellung gezeigt. Die mit ausgezogenen Strichen dargestellte Darstellung zeigt einen rotierenden Würfel der Einheit **15** gegenüber einer Grundstellung (gestrichelt) um einen Winkel  $\alpha$  verdreht. Der Würfel ist durch einen nicht dargestellten Antrieb in Rotation, gemäss Pfeil **33**, versetzbar. Die Querschnittsfläche **34** des Würfels, in welcher der Strahl **5'** verläuft [innerhalb des Würfels ist der Strahl **5'** mit **41b**, **41c** und **41d** gekennzeichnet], weist vier Ecken **35a** bis **35d** auf und ist in dem hier ausgewählten Beschreibungsbeispiel quadratisch ausgebildet, d. h. der "Würfel" ist ein gerader Zylinder mit quadratischer Grundfläche. Die Rotationsachse **37** ist mit der Achse des Zylinders identisch. Jede Zylindermantelfläche **39a** bis **39d** des Würfels ist mit einer teilweisen Beschichtung **40a** bis **40d** versehen, welche derart ausgewählt ist, dass sie die im Würfel verlaufenden Strahlen **41c** bzw. rückreflektierten Strahlen **41d** der Strahlung optimal reflektiert. Am Reflexionsort des Strahls **41b** bzw. des rückreflektierten Strahls **41c** wird an der hier beispielsweise gezeichneten Wand **39b** keine Reflexionsbeschichtung benötigt, da hier Totalreflexion erfolgt. Die Beschichtungen **40a** bis **40d** beginnen jeweils an den Ecken (Kanten) **35a** bis **35d** und erstrecken sich über eine Distanz **a** in die betreffende Seitenfläche **39a** bis **39d** hinein. Ausgehend von jeder Kante **35a** bis **35d** ist jeweils nur eine der beiden anstossenden Seiten beschichtet, und zwar jeweils nur immer diejenige, auf welcher der reflektierte mit dem einfallenden Strahl einen spitzen Winkel bildet.

Der in den Würfel eintretende Strahl **5'** ist derart geführt, dass er gerade an der in **Figur 2** rechten Kante **42** des Reflektors **30** vorbeiführbar ist. Ein Abstand **e** von der Reflektorkante **42** ist gerade so gross gewählt, dass er nur geringfügig kleiner als die halbe Würfelkante ist. Bei dem hier gewählten Zahlenbeispiel mit einer Flächenbreite  $I_k$  von 30 mm, wird der Strahl **5'** in einem Abstand **e** von 13 mm von der zentrischen Rotationsachse **37** und in einem Abstand von etwa 3 mm von der Reflektorkante **42** entfernt eingestrahlt.

Eine Weglängenveränderung  $\Delta s$  infolge der Rotation des Würfels setzt sich nun aus dem doppelten Weg der sich ändernden Weglängen der Strahlen 5' sowie 41a bis 41e zusammen. Für die Strahlen 41b bis 41d ist zu beachten, dass deren Weglängen durch den Brechungsindex  $n_e$  des Mediums, in dem sie verlaufen, erhöht sind. Die Weglänge  $s$  ist abhängig vom Drehwinkel  $\alpha$ , vom Abstand des Strahleintritts  $e$ , vom Brechungsindex  $n_e$  und der Flächenbreite  $l_k$  der Flächen 39a bis 39d. Die unten berechnete Weglänge  $s$  beginnt und endet an der gestrichelten Geraden A-D in Figur 2.

$$s = n_e \cdot (\underline{41b} + \underline{41c} + \underline{41d}) + \underline{CD} + \underline{AB}$$

Da  $\underline{41b} + \underline{41c} = \underline{41d}$  ist, folgt

$$s = 2 \cdot n_e \cdot \underline{41d} + \underline{CD} + \underline{AB},$$

wobei die Strecke  $\underline{41d} = l_k \cdot [1 - (\sin \alpha)^2 / n_e^2]^{-1/2}$

die Strecke  $\underline{CD}$

$$\underline{CD} = \frac{Z_{CD,1} \cdot Z_{CD,2}}{N_{CD}}$$

mit

$$N_{CD} = n_e \cdot [1 - \sin^2 \alpha / n_e^2]^{1/2} + \frac{1}{2} [l_k - l_k \cdot \tan(\alpha/2)] \cdot \tan \alpha,$$

$$Z_{CD,1} = -2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot (l_k - n_e \cdot \sin \alpha^{-1} \cdot (1 - \sin^2 \alpha / n_e^2)^{1/2}),$$

$$Z_{CD,2} = [l_k/2 + l_k \cdot \tan(\alpha/2)/2 - \cos \alpha^{-1} \cdot [l_k/2 - l_k \cdot \tan(\alpha/2)/2]$$

$$\text{und die Strecke } \underline{AB} = \frac{1}{2} \cdot [l_k - (l_k \cdot \tan(\alpha/2))] \cdot \tan \alpha.$$

Die Parameter  $e$ ,  $l_k$  und  $n_e$  lassen sich nun derart optimieren, dass für einen vorgegebenen Winkelbereich  $\alpha$  eine annähernd lineare Weglängenänderungsgeschwindigkeit  $v_{scan}$  als Wegdifferential erreichbar ist, wie die Figuren 3 zeigen. Die Weglängenänderung ergibt sich zu

$$v_{scan} = \frac{ds}{dt} = w \cdot \frac{ds}{d\alpha},$$

wobei  $w$  die Winkelgeschwindigkeit des rotierenden Würfels ist. Die ermittelte zeitliche Weglängenänderung und die mit den Strahlungsdetektoren  $PA_1$  und  $PA_2$  messbare Differenzfrequenz  $f_{\text{Doppler}}$  sind über die Relation

$$5 \quad f_{\text{Doppler}} = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_{\text{scan}}}{c}$$

miteinander verknüpft, wobei  $f_0$  die ursprüngliche Strahlungsfrequenz der Strahlungsquelle HC bzw. LC und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist.

Die Weglängenänderungsgeschwindigkeit  $v_{\text{scan}}$  ergibt sich zu

$$10 \quad v_{\text{scan}} = \frac{Z_{v,1} - Z_{v,2} \cdot Z_{v,3}}{N_{v,1}} - \frac{Z_{v,4} \cdot Z_{v,5}}{N_{v,2}} - Z_1 - 2 \cdot \sin^2 \alpha / N_{v,2} \cdot [Z_{v,3} \cdot \cos \alpha + Z_{v,6} \cdot Z_{v,7} \cdot (Z_{v,8} - Z_{v,6})]$$

mit

$$15 \quad Z_{v,1} = \frac{2 \cdot l_k \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{n_e [1 - \sin^2 \alpha / n_e^2]^{3/2}} + 2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{1}{2} \cdot l_k [1 - \tan(\alpha/2)];$$

$$Z_{v,2} = 2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin^3 \alpha \cdot [l_k - n_e \cdot \sin \alpha^{-1} \cdot [1 - \sin^2 \alpha / n_e^2]^{1/2}];$$

$$Z_{v,3} = l_k / 2 \cdot [(1 + \tan(\alpha/2) - \cos \alpha^{-1} \cdot (1 - \tan(\alpha/2))];$$

$$20 \quad N_{v,1} = n_e \cdot (1 - \sin^2 \alpha / n_e^2)^{3/2};$$

$$Z_{v,4} = 4 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot (l_k - n_e \cdot \sin \alpha^{-1} \cdot (1 - \sin^2 \alpha / n_e^2)^{1/2});$$

$$Z_{v,5} = l_k / 2 \cdot [1 + \tan(\alpha/2) - \cos \alpha^{-1} \cdot (1 - \tan(\alpha/2))];$$

$$N_{v,2} = n_e \cdot (1 - \sin^2 \alpha / n_e^2);$$

$$Z_1 = \frac{1}{2} \cdot [l_k \cdot \sin(\alpha/2)^{-2} \cdot \tan \alpha];$$

$$25 \quad Z_{v,6} = n_e \cdot \cot \alpha \cdot \cos \alpha^{-1} \cdot [1 - \sin^2 \alpha / n_e^2];$$

$$Z_{v,7} = Z_{v,3} - n_e \cdot \cos \alpha^{-1} \cdot [1 - \sin^2 \alpha / n_e^2]^{1/2};$$

$$Z_{v,8} = l_k / 4 \cdot [\sin(\alpha/2)^{-2} + (\sin(\alpha/2)^{-2} \cdot \sin \alpha^{-1});$$

$$Z_{v,9} = l_k / 2 \cdot \sin \alpha^{-1} \cdot \tan \alpha \cdot [1 - \tan(\alpha/2)].$$

Um einen kompakten Aufbau zu erreichen, wird der Abstand des Reflektors 30 von der Rotationsachse 37 des Würfels gerade so gross gewählt, dass ein störungsfreies Vorbeirotieren der Kanten 35a - 35d gegeben ist.

Aus den obigen Berechnungen ist ersichtlich, dass die Weglängenänderungsgeschwindigkeit  $v_{\text{scan}}$  und damit auch die Dopplerfrequenzen  $f_{\text{Doppler, HC}}$  und  $f_{\text{Doppler, LC}}$  vom Brechungsindex  $n_e$  und vom Abstand des Strahleintritts  $e$  bzw. vom Drehwinkel  $\alpha$  abhängen. Unter Ausnutzung der Dispersion des Brechungsindex  $n_e$  und/oder durch Vorschalten dispersiver Elemente (Gitter, Prismen, ...), mit denen verschiedene Strahleintritte (Variation von  $e$ ) für verschiedene Wellenlängen erzeugt werden können, kann erreicht werden, dass die jeweilige Dopplerfrequenz für verschiedene Wellenlängen  $\lambda_{\text{HC}}$  und  $\lambda_{\text{LC}}$  gleich ausfällt.

Wird auf die Beschichtungen 40a bis 40d verzichtet, so kann gegenüber der Darstellung in **Figur 2** ein grösserer Drehwinkelbereich  $\Delta\alpha$  des Würfels ausgenützt werden. Die für die Interferenz zur Verfügung stehende Intensität ist dann allerdings geringer, aber noch ausreichend, da aufgrund der guten Linearität der Wegdifferenzänderung  $\Delta s_{\text{scan}}/t$  eine gute Filtermöglichkeit gegeben ist.

Mehrfachreflexionen, welche neben den in **Figur 2** gezeigten Strahlwegen liegen, stören nicht, da sie aufgrund der guten Blendenwirkung der Einkopplung in den Strahlungsleiter 5 nicht in diesen gelangen.

Im Referenzzweig 5 kann die Strahlung auch vollständig in einem Strahlungsleiter geführt werden. Die Weglänge kann in diesem Fall variiert werden, indem z.B. ein Teil des Strahlungsleiters gedehnt oder komprimiert wird. Wird der Strahlungsleiter z.B. um eine Trommel mit piezokeramischem Material gewickelt und der Durchmesser der Trommel durch Anlegen einer sinusförmigen elektrischen Spannung verändert, so erhält man ebenfalls die gewünschte periodische Weglängenänderung. Das Strahlungsleiterende kann mit einer metallischen oder dielektrischen Reflexionsschicht bedampft werden, um die Strahlungsverluste im Referenzzweig 5 klein zu halten.

Die Verarbeitung der von den Strahlungsdetektoren  $PA_1$  und  $PA_2$  detektierten Signale wird anhand des Blockschaltbildes in **Figur 4** erklärt. Das Interferenzsignal, erzeugt mit der Strahlungsquelle HC mit der Dopplerfrequenz  $f_{\text{Doppler, HC}}$ , wird, wie bereits oben ausgeführt, vom Strahlungsdetektor  $PA_2$  detektiert und das Interferenzsignal, erzeugt mit der Strahlungsquelle LC mit der Dopplerfrequenz  $f_{\text{Doppler, LC}}$ , vom Strahlungsdetektor  $PA_1$ .

Durch die Detektion werden die Signale in eine oszillierende Spannung  $u_2$  bzw.  $u_1$  umgewandelt.

**Figur 5** zeigt das mit dem Strahlungsdetektor  $PA_1$  gemessene Interferenzsignal  $u_1$  der Strahlungsquelle **LC** (obere Spur) sowie als mittlere Spur dasselbe Signal nach Aufbereitung durch eine Gleichrichtereinheit **R** und einen Tiefpass **LP**. Die untere Spur in **Figur 5** zeigt das mit dem Strahlungsdetektor  $PA_2$  gemessene Interferenzsignal  $u_2$  der Strahlungsquelle **HC**.

Die beiden Detektoren  $PA_1$  und  $PA_2$  sind bevorzugt als kohärente Detektionssysteme ausgebildet. Die vom jeweiligen Detektor  $PA_1$  bzw.  $PA_2$  detektierte Strahlung setzt sich zusammen aus einem konstanten Strahlungsanteil  $I_{ref}$  vom Referenzweig **5**, einem konstanten Strahlungsanteil  $I_{MK}$  vom Messweig **7** bzw. aus dem Kalibrierweig **23** und einem zeitlich variablen Strahlungsinterferenzterm  $I_{if}$  :

$$I_{if} = 2 \cdot (I_{ref} \cdot I_{MK})^{1/2} \cdot |\gamma(\tau)| \cdot \cos(\omega\tau + \xi),$$

wobei  $\gamma$  der komplexe Korrelationsgrad der Feldstärken der beiden Strahlungsanteile  $I_{ref}$  und  $I_{MK}$ ,  $\tau$  die Laufzeitdifferenz der Strahlung in den beiden Interferometerzweigen,  $\omega$  die Kreismittenfrequenz der Strahlungsquelle **LC** bzw. **HC** und  $\xi$  eine konstante Phase bedeuten. Die kohärente Detektion besteht darin, dass die von den Strahlungsanteilen  $I_{ref}$  und  $I_{MK}$  stammenden Gleichstromanteile mit einem Hoch- oder Bandpassfilter weggefiltert werden und dass die Intensität der jeweiligen Strahlungsquelle **LC** bzw. **HC** so gross gewählt wird, dass der vom Interferenzterm  $I_{if}$  stammende Signalstrom grösser wird als der aus dem (thermischen) Eigenrauschen des Detektionssystems stammende Rauschterm. Hierdurch wird eine auf das Schrotrauschen der Strahlung begrenzte Empfindlichkeit erreicht. Im Unterschied zu den in der sogenannten "Weisslicht-Interferometrie" üblichen Auswerteverfahren wird mit dieser kohärenten Detektion die Empfindlichkeit zur Messung sehr schwacher Signale stark verbessert und der Kontrast bei der Ermittlung der Amplitude der Interferenzsignale wesentlich verbessert.

Der Abstand der Nadeln in der unteren Spur ergibt als Längennormal jeweils eine halbe Wellenlänge der Strahlung der Strahlungsquelle **HC**. Die "Pulse"  $P_1$  und  $P_2$  stellen Punkte im oder auf dem Gegenstand **18** dar, an denen Strahlung reflektiert wird. Hier sind es die vordere bzw. die hintere Oberfläche des Gegenstands **18**. Aus der Anzahl Nadeln zwischen den beiden Pulsen  $P_1$  und  $P_2$ , multipliziert mit der halben Wellenlänge der Strahlung der Strahlungsquelle **HC**, ergibt sich der Abstand der beiden Gegenstandsoberflächen.

Ein Auszählen der Nadeln 29 und deren Zuordnung zu den Pulsen  $P_1$  und  $P_2$  kann selbstverständlich mit einer automatischen Auswertung erfolgen.

Bei der hier beschriebenen Auswertung erfolgt die Distanzmessung zwischen  $P_1$  und  $P_2$  mit einer Genauigkeit im Mikrometerbereich. Die Genauigkeit ist im wesentlichen durch die Breite der Pulse  $P_1$  bzw.  $P_2$  gegeben. Sie ist nach unten begrenzt durch den Wert der halben Wellenlänge der Strahlungsquelle HC.

Eine Genauigkeitserhöhung lässt sich erreichen, indem die "Schwerpunkte" der Pulse  $P_1$  und  $P_2$  mit entsprechenden mathematischen Algorithmen ermittelt und die Orte der "Schwerpunkte" zwischen den Maxima der Interferenzsignale  $u_2$  interpoliert werden. Es kann aber auch mit den Interferenzsignalen  $u_1$  gearbeitet und deren Phasenlage gegenüber dem Signal  $u_2$  bestimmt werden. Auf Kosten eines kleineren Signal-Rausch-Verhältnisses werden dabei wesentlich höhere Genauigkeiten (im Bereich von  $\lambda/10$  bis  $\lambda/100$ ) erreicht.

Durch die Variation der Distanz im Referenzzweig wird bei kontinuierlicher Detektion die Reflexion im Gegenstand als Funktion der Tiefe gemessen. Derartige Reflexionsprofile können auch in stark streuenden (diffusiven) Gegenständen, z.B. in biologischen Objekten (menschliches, tierisches oder pflanzliches Gewebe, ...) gemessen werden. Aufgrund der kohärenten Detektion wird der nichtkohärente Anteil der gestreuten Strahlung nicht gemessen. Aus den Reflexionsprofilen lassen sich optische Eigenschaften des Gegenstands, wie Gruppenbrechungsindex, Absorptionskoeffizient der kohärenten Strahlung etc. ermitteln. Wird die Polarisation der Strahlung z.B. unter Verwendung von polarisationserhaltenden Strahlungsleitern genau kontrolliert, so können unter Zuhilfenahme von z.B. Kompensatoren auch polarisationsabhängige Eigenschaften (Doppelbrechung, Drehungsvermögen etc.) bestimmt werden.

Das Abbildungssystem  $L_2$  kann auch derart ausgebildet werden, dass der austretende freie Strahl 7' in der Papierebene der Figur 1 sowie in einer hierzu senkrechten Ebene analog der Pfeile 50 verschiebbar oder räumlich analog der Pfeile 51 verschwenkbar ist. In beiden Fällen ist ein Abtasten des Gegenstands 18 möglich. Da die Schwenk- bzw. Verschiebelage des freien Strahls 7' und der Abstand des Gegenstands 18 vom Abbildungssystem  $L_2$  bekannt sind, kann der Gegenstand 18 (sowie sein Inneres) optisch hiermit ausgemessen werden.

Bei Phasenmessung ist es von Vorteil, wenn die Interferenzsignale  $u_1$  und  $u_2$  dieselbe Frequenz aufweisen. Eine Schaltungsanordnung, welche dies ermöglicht und welche gleichzeitig Frequenzvariationen, verursacht durch nichtlineare Weglängendifferenzänderungen im Referenzzweig 5 (Weglängenvariationseinheit 15), eliminiert, ist in **Figur 6** dargestellt.

Mittels eines elektronischen Elements **PLL** (phase-locking loop) wird die oszillierende Spannung  $u_2$  entsprechend der Oszillationsfrequenz in eine Spannung  $U_2$  umgeformt. Die Spannung  $U_2$  wird mit einem Operationsverstärker **OA** mit konstanter Verstärkung in eine Spannung  $U_3$  verstärkt. Der konstante Verstärkungsfaktor **G** ist auf das Verhältnis zwischen der Mittenwellenlänge der Strahlungsquelle **HC** und derjenigen der Strahlungsquelle **LC** eingestellt:

$$G = \lambda_{HC} / \lambda_{LC} = 1/k$$

Der derart erhaltenen Spannung  $U_3$  wird eine konstante Spannung -  $U_{offset}$  zur Bildung einer Spannung  $U_4$  überlagert. Diese Spannung  $U_4$  wird durch einen spannungskontrollierten Oszillator **VCO** (voltage-controlled oscillator) in eine oszillierende Spannung  $u_5$  verwandelt.

Mit dem elektrischen Signal  $u_1$  des Strahlungsdetektors **PA1**, erzeugt mit der Interferenzstrahlung der Strahlungsquelle **LC**, und der oszillierenden Spannung  $u_5$  wird ein Differenzsignal  $u_{t,Diff}$  mit einem elektronischen Mixer **MIX** gebildet. Die Frequenz dieser Spannung  $u_{t,Diff}$  ist:

$$\begin{aligned} f_{Diff} &= f(u_1) - f(u_5) \\ &= f_{Doppler, LC} - F(U_3 - U_{offset}) \\ &= f_{Doppler, LC} - F[U_2 \cdot (\lambda_{HC} / \lambda_{LC}) - U_{offset}] \\ &= f_{Doppler, LC} - f_{Doppler, HC} \cdot (\lambda_{HC} / \lambda_{LC}) + F(U_{offset}) \\ &= v_{scan} / \lambda_{LC} - (v_{scan} / \lambda_{HC}) \cdot \lambda_{HC} / \lambda_{LC} + F(U_{offset}) \\ &= v_{scan} / \lambda_{LC} - v_{scan} / \lambda_{LC} + F(U_{offset}) = F(U_{offset}) \end{aligned}$$

wobei  $f(u_x)$  die Frequenz der jeweiligen oszillierenden Spannung  $u_x$  kennzeichnet und  $F(U_x)$  die jeweilige Transferfunktion der elektronischen Elemente **PLL** und **VCO**, welche gleichgesetzt werden.



Mit der Schaltungsanordnung gemäss **Figur 6** wird eine synthetische Frequenz

$f_3 = G \cdot f_2$  gebildet, derart, dass ein neues Differenzsignal konstant bleibt:

$$f_4 = f_3 - f_1.$$

Ausgehend von den oben gemachten mathematischen Überlegungen ergibt sich,  
5 dass die Frequenz der Weglängenänderungen in das Messverfahren nicht eingeht. Aufgrund dieser Überlegung wird dem Operationsverstärker **OA** ein Schmalbandfilter **BP** mit der Mittenfrequenz  $f_{\text{Diff}}$  nachgeschaltet werden. Durch die Schmalbandigkeit des Bandpasses **BP** ergibt sich eine signifikante Erhöhung der Messempfindlichkeit.

Da hier das Differenzsignal zeitlich konstant bleibt, können auch Reflexionsprofile  
10 unter Verwendung einer Weglängenvariationseinheit ermittelt werden, deren Weglängenänderung über der Zeit stark nicht linear ist (=keine konstante Weglängenänderungsgeschwindigkeit). Die oben ausgeführte Strahlführung in einem rotierenden Würfel (**Figur 2**) kann z. B. stark vereinfacht werden, indem ein z.B. ein rotierendes Parallelepiped (Würfel, Rhomboeder) oder eine rotierende Glasplatte vor einem festen Spiegel in Transmission durchstrahlt wird, wobei der Strahl durch den Spiegel in sich zurück reflektiert wird.  
15 Weitere Vorrichtungen wie sinusförmig vibrierende Spiegelmembranen, feste Glasplatten oder Würfel kombiniert mit rotierenden Spiegeln, die bisher wegen einer starken Dopplerfrequenzvariation nicht verwendet werden konnten, können jetzt mit dem oben beschriebenen Verfahren verwendet werden.

Falls die Wellenlängen der beiden Strahlungsquellen gleich gross gewählt werden  
20 ( $\lambda_{\text{HC}} = \lambda_{\text{LC}}$ ;  $k = 1$ ), durchlaufen beide Dopplersignale bei auftretenden Nichtlinearitäten in Weglängenvariationsgeschwindigkeit  $v_{\text{scan}}$  dieselben Frequenzänderungen, wie bereits oben erwähnt. Die Differenz der Dopplerfrequenzen  $f_{\text{Doppler}}$  ist für alle Positionen des reflektierenden Spiegels **30** der Weglängenvariationseinheit **15** Null. Es kann somit auf die  
25 Frequenzumwandlung des detektierten Signals verzichtet werden. Die in **Figur 6** dargestellte Schaltungsanordnung kann vereinfacht werden, indem der mit **FU** bezeichnete Teil zur Frequenzumwandlung weggelassen wird.

Senden beide Strahlungsquellen Strahlung mit derselben Wellenlänge aus, kann zur Kopplung der beiden Interferometer ein normaler Fibernkoppler von z.B. 50/50 anstelle  
30 des Wellenlängenmultiplexers **WDM** in **Figur 1** verwendet werden.

Eine Strahlung grosser Kohärenzlänge kann auch durch eine wellenlängenselektive Filterung aus einer breitbandigen Strahlung mit kurzer Kohärenzlänge erhalten werden.

Eine einfache experimentelle Anordnung ist in **Figur 7** dargestellt. Hier wird die breitbandige Strahlung einer Strahlungsquelle **S** mit einem Strahlungsleiter **107** zu einem Fibernkoppler **109** geführt. Von diesem Koppler **109** geht ein Teil der Strahlung (annähernd die Hälfte) über einen Referenzzweig **110** analog zur Darstellung in **Figur 1** auf eine Wegvariations-

5 einheit **15**. Vom Koppler **109** geht der andere Strahlungsteil über einen Polarisationskontrollier **PC1** zu einer Einheit **111**, welche analog zu dem in **Figur 1** eingesetzten **WDM** ausgebildet ist. Auf den anderen Eingang der Einheit **111** ist die sichtbare Strahlung eines Ziellasers **112** geführt. Auf den Ziellaser **112** kann verzichtet werden, wenn die Strahlung der Strahlungsquelle **S** im sichtbaren Spektralbereich liegt. Der Ausgang der Einheit **111**

10 führt zum Messzweig **113**. Der Messzweig hat einen an die Einheit **111** angeschlossenen Strahlungsleiter **114**, an dessen der Einheit **111** abgewandten Ende ein "schmalbandiger" Reflektor **115** als frequenzselektive Einheit angeordnet ist. Als frequenzselektive Einheit kann z.B. ein "Faser Bragg Grating" verwendet werden. Der Maximalwert der Reflexion liegt hier innerhalb der spektralen Bandbreite  $\Delta\lambda_s$  der Strahlungsquelle **S**. Die "Mittenwellenlänge" liegt beispielsweise im Maximum der Emissionskurve  $\lambda_s$  der Strahlungsquelle **S**.

15 Die Bandbreite  $\Delta\lambda_B$  der frequenzselektiven Einheit **115** wird so gewählt, dass die Kohärenzlänge  $L_B$  der durch den Reflektor **115** reflektierten Strahlung grösser ist als der doppelte Abstand **D** zwischen dem Reflektor **115** und dem Messort im Gegenstand **18**. Zwischen der Bandbreite  $\Delta\lambda_B$  und der Kohärenzlänge  $L_B$  besteht unter Annahme einer spek-

20 tralen Intensitätsverteilung mit Gaussprofil die Beziehung

$$L_B = \frac{4 \cdot \ln 2}{\pi} \cdot \frac{\lambda_B^2}{\Delta\lambda_B}.$$

Es muss somit die Bandbreite  $\Delta\lambda_B$  zu

$$\Delta\lambda_B \leq \frac{2 \cdot \ln 2}{\pi} \cdot \frac{\lambda_s^2}{L_B}$$

gewählt werden. Ist diese Bedingung erfüllt, so interferiert die vom Reflektor **115** reflektierte Strahlung mit der Strahlung des Referenzzweiges **110**. Die vom Reflektor **115** nicht reflektierte breitbandige Strahlung wird über die Linse  $L_2$  auf bzw. in den Gegenstand **18** geführt

30 und dort reflektiert. Diese breitbandige reflektierte Strahlung interferiert mit der Strahlung aus dem Referenzzweig **110**, wenn die optischen Distanzen im Referenzzweig **110** und im Messzweig **113** gleich lang sind. Die interferierenden Strahlungen werden über einen

Strahlungsleiter 116 und ein optisches Abbildungssystem L5 auf einen wellenlängenselektiven Strahlteiler IF (z.B. ein Interferenzfilter) geführt, der die schmalbandige Strahlung auf einen Detektor PA<sub>2</sub> leitet und die breitbandige Strahlung zum Detektor PA<sub>1</sub> reflektiert.

- 5 Die Transmissionskurve des als Strahlteiler IF wirkenden Interferenzfilters muss mit der Reflexionskurve des Reflektors (Bragg Gitter) 115 übereinstimmen, damit lediglich minimale Verluste sich ergeben.

- Anstelle des Interferenzfilters als Strahlteiler IF können auch andere wellenlängenselektive Filter, wie z.B. Bragg-Gitter, verwendet werden. Die Strahlung am Ausgang des Strahlungsleiters 116 kann aber auch mit einem Detektor detektiert werden, wobei dann die elektrischen Signale der beiden Interferenzen mit elektrischen Filtern getrennt werden müssen.
- 10

- Die in Figur 7 dargestellte Anordnung hat den Nachteil, dass das Spektrum der Strahlungsquelle S durch den wellenlängenselektiven Reflektor 115 modifiziert wird. Es könnte hierdurch die Dynamik oder die Auflösung bei der Messung des Reflexionsprofils des Gegenstands beeinträchtigt werden.
- 15

- Dieser Nachteil kann behoben werden, indem z.B. unter Zuhilfenahme eines weiteren Kopplers 119 die Strahlungswege zwischen schmalbandiger und breitbandiger Strahlung von Anfang an aufgetrennt werden. Eine entsprechende Anordnung ist in Figur 8 dargestellt.
- 20

- Sollte die in den Anordnungen der Figuren 7 und 8 verwendete Strahlungsquelle S empfindlich gegenüber einer rückgekoppelten Strahlung sein (wenn beispielsweise ein Wellenleiterverstärker als Strahlungsquelle S eingesetzt wird), so kann die Rückkopplung mit einer an geeigneter Stelle (z.B. am Ausgang der Strahlungsquelle S) platzierten optischen Diode unterdrückt werden.
- 25

Die wellenlängenselektive (frequenzselektive) Einheit 115 kann auch direkt an den Eingang und/oder den Ausgang der Strahlungsquelle S gelegt oder auch gleich in sie integriert werden (z.B. ein Faserlaser mit Spontanemission). Die Bandbreite der Strahlung mit der grossen Kohärenzlänge muss nur den oben aufgeführten Bedingungen genügen.

- 30 Eine weitere Ausführungsvariante zu der in Figur 1 dargestellten optischen Anordnung zeigt Figur 9. Hier wird der Zweig 23, hier mit 53 gekennzeichnet, nicht mehr auf den Spiegel 25 geführt, sondern über ein optisches Element 54 in den Messzweig, hier mit 55

gekennzeichnet, eingekoppelt. Das Element **54** ist analog zu dem optischen Element **WDM** ausgebildet. Das Strahlungsleiterende **16** ist mit einer dichroischen Reflexionsschicht derart versehen, dass die Strahlung der Strahlungsquelle **HC** reflektiert, diejenige der Strahlungsquelle **LC** jedoch transmittiert wird (=Übernahme der Funktion des Spiegels **25**).

5 Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ergibt sich bei einem langen Strahlungsleiter **55** zum auszumessenden Gegenstand **18**: Die Strahlungen aus den Strahlungsquellen **HC** und **LC** durchlaufen dieselben Wegstrecken und allfällige Änderungen der optischen Distanz durch z.B. Druck- und/oder Temperaturänderungen werden bei der oben beschriebenen Auswertung der Distanzen direkt kompensiert.

10 In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel sind die Mittenwellenlängen  $\lambda_{HC}$  und  $\lambda_{LC}$  der beiden Strahlungsquellen **HC** und **LC** unterschiedlich:

$$\lambda_{HC} \neq \lambda_{LC}$$

In diesem Fall können Gruppendispersionseffekte auftreten. Diese Dispersionseffekte können vermieden bzw. minimiert werden, wenn die Summe der optischen Weglängen [ $\sum n_i \cdot l_i$ ,  
15 wobei  $l_i$  die geometrische Länge des betreffenden,  $i$ -ten Elements und  $n_i$  dessen Gruppen-Brechungsindex bei der betreffenden Wellenlänge ist] in beiden Interferometerarmen gleich gross ist.

Wird eine der beiden Strahlungsquellen derart ausgewählt, dass ihre Strahlung im sichtbaren Bereich liegt, so kann auch hier auf den "Ziellaser" **27** und damit auch auf den  
20 Koppler **26** verzichtet werden (Figuren 9 bis 11). Hierdurch ist eine signifikante Vereinfachung der Anordnung erzielbar.

Wird das Element **54** als Koppler analog zum Koppler **19** ausgebildet und Strahlungsquellen mit gleicher Mittenwellenlänge [ $\lambda_{HC} = \lambda_{LC}$ ] jedoch unterschiedlicher Kohärenzlänge verwendet, so können die oben aufgeführten Dispersionseffekte ausgeschlossen  
25 werden.

Eine weitere Variante zum optischen Aufbau der Figur 1 ist in Figur 10 dargestellt. Hier wird anstelle der beiden Koppler **1** und **19** ein Dreifachkoppler **59** verwendet. Von der linken Seite des Kopplers **59** in Figur 7 gehen drei Strahlungsleiter **61**, **62** und **63** ab. Der Strahlungsleiter **61** führt zu einer Strahlungsquelle **65** (analog der Strahlungsquelle **HC**) mit  
30 der Mittenwellenlänge  $\lambda_{HC}$  und grosser Kohärenzlänge sowie der Strahlungsleiter **63** zu einer Strahlungsquelle **66** (analog der Strahlungsquelle **LC**) mit der Mittenwellenlänge  $\lambda_{LC}$

und kleiner Kohärenzlänge. Der Strahlungsleiter 62 ist mit einem untenbeschriebenen Detektionssystem 67 bzw. 69 verbunden, welches entweder mit einem elektrischen oder einem optischen Verfahren eine Signaltrennung vornimmt. Von der in **Figur 10** rechten Seite des Kopplers 59 gehen drei Strahlungsleiter 71, 72 und 73 ab. Der Strahlungsleiter 71 führt über einen Polarisationskontroller 74 (analog dem Polarisationskontroller  $PC_2$ ) und über ein DurchgangsfILTER 75 für die Mittenwellenlänge  $\lambda_{HC}$  zu einem feststehenden Spiegel 76 (analog Spiegel 25). Der Strahlungsleiter 72 führt Strahlung mit den Mittenfrequenzen  $\lambda_{HC}$  und  $\lambda_{LC}$  über ein optisches Abbildungssystem 77, (analog dem Abbildungssystem  $L_2$ ) wie bereits oben beschrieben, auf eine Weglängenvariationseinheit 79, welche analog zu den bereits oben beschriebenen ausgebildet sein kann. Der Strahlungsleiter 73 führt Strahlung mit der Mittenwellenlänge  $\lambda_{LC}$  durch einen Polarisationskontroller 80 (analog Polarisationskontroller  $PC_1$ ), durch ein für diese Wellenlänge bestimmtes DurchgangsfILTER 81 und über ein Abbildungssystem 82 (analog Abbildungssystem  $L_2$ ) als Strahl auf einen auszumessenden Gegenstand 83.

Mit einer analogen zu der in **Figur 10** gezeigten Anordnung mit einem Dreifachkoppler 59 kann auch analog zu den Anordnungen der **Figuren 7 und 8** mit nur einer Strahlungsquelle 66 (LC) mit kurzer Kohärenzlänge verfahren werden. Anstelle der Strahlungsquelle 65 (HC) wird ein zweiter Strahlungsdetektor analog zum Strahlungsdetektor 67 bzw. 69 gesetzt und der feststehende Reflektor 76 durch einen wellenlängenselektiven Reflektor analog zum Reflektor 115 ersetzt. Die DurchgangsfILTER 75 und 81 fallen weg; es werden dafür z.B. am Eingang der Detektoren optische Filter montiert, welche die schmalbandige Strahlung des frequenzselektiven Reflektors unterdrücken (reflektieren, Detektion der breitbandigen Strahlung mit  $PA_1$ ) bzw. transmittieren (Detektion der schmalbandigen Strahlung durch  $PA_2$ ).

Anstelle oder zusätzlich zu den optischen Filtern können auch elektrische Filter in  $PA_1$  und  $PA_2$  verwendet werden. Die Filter werden analog zu den in der Anordnung in **Figur 8** verwendeten bestimmt.

In **Figur 11** ist eine weitere Ausführungsvariante des optischen Aufbaus dargestellt. Die beiden Strahlungsquellen 85 und 86 mit der grossen Kohärenzlänge und der Mittenwellenlänge  $\lambda_{HC}$  sowie mit der kleinen Kohärenzlänge und der Mittenwellenlänge  $\lambda_{LC}$  sind über je einen Strahlungsleiter 87 bzw. 89 mit einer zur Einheit **WDM** identischen Einheit 90 verbunden. Die durch die Einheit 90 vereinten Strahlungen  $\lambda_{HC}$  und  $\lambda_{LC}$  werden auf einen Anschluss (links in **Figur 8**) eines Kopplers 91 geführt. Der andere linke Anschluss des

Kopplers 91 ist über einen Strahlungsleiter 92 mit einem Detektionssystem analog der Detektionssysteme 67 bzw. 69 verbunden. Ein (rechtsseitiger) Anschluss des Kopplers 91 führt über einen Strahlungsleiter 93 mit Polarisationskontroller 94, analog zur obigen Beschreibung auf eine Wegvariationseinheit, hier mit 95 gekennzeichnet. Der andere (rechts-

5 seitige) Anschluss des Kopplers 91 führt analog zu den obigen Ausführungen zum auszumessenden Gegenstand 97.

Figur 12 zeigt als Blockschaltbild die in den Figuren 10 und 11 eingesetzte Schaltungsanordnung eines Detektionssystems mit elektrischer Signaltrennung. Die mit dem Strahlungsleiter 92 (Figur 10 und 11) zugeführten optischen Signale mit den Doppler-

10 frequenzen  $f_{\text{Doppler, LC}}$  und  $f_{\text{Doppler, HC}}$  werden mit einem einzigen Detektor 99 in entsprechende elektrische Signale umgeformt. Beide Signale unterscheiden sich u.a. durch die unterschiedlichen Dopplerfrequenzen  $f_{\text{Doppler, LC}}$  und  $f_{\text{Doppler, HC}}$ , welche mit einer Frequenzweiche 100 aufgetrennt werden. Diese aufgetrennten elektrischen Signale entsprechen den Signalen  $u_1$  und  $u_2$  in Figur 4 und werden, wie zu dieser Figur beschrieben, verarbeitet.

Figur 13 zeigt als Blockschaltbild die in den Figuren 10 und 11 eingesetzte Schaltungsanordnung eines Detektionssystems mit optischer Signaltrennung, welche hier über eine Einheit 101 mit analoger Funktion zu dem bereits oben beschriebenen WDM optisch

15 getrennt und anschliessend mit je einem Detektor 102 und 103 detektiert werden. Die detektierten Signale werden analog zur Beschreibung der Figur 4 verarbeitet.

20 Anstelle des Elements WDM können selbstverständlich auch ein dispersives Element (Gitter, Prisma, ...) oder wellenlängenselektive Filter verwendet werden.

Figur 14 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführungsvariante der oben beschriebenen Vorrichtung. Auch hier sind zwei miteinander gekoppelte Michelson-Interferometer 123 und 124 vorhanden. Die optischen Komponenten des Michelson-Interferometers 123 sind

25 mit einer gestrichelten Linie umzogen und diejenigen des Michelson-Interferometers 124 mit einer strichpunktierten. Die hier dargestellte Variante gestattet ein gleichzeitiges (paralleles) Ausmessen von verschiedenen im Gegenstand 144 liegenden Punkten ohne den Messstrahl, wie in den Figuren 1, 7, 8, 9, 10 und 11, zu bewegen. Das Blockschaltbild dieser Ausführungsvariante unterscheidet sich von den in den Figur 1, 7, 8, 9, 10 und 11 dargestellten dadurch, dass anstelle des Detektors  $PA_1$  nicht mehr nur ein einziger Detektor,

30 sondern eine Detektorenanordnung 125 mit mehreren Detektoren  $D_i$  vorhanden ist, wobei  $i$  von 1 bis  $n$  läuft. Als Detektorenanordnung 125 kann beispielsweise ein CMOS-Chip mit inte-

grierten Detektorelementen, Verstärkerelementen, Filterelementen, ... verwendet werden. Durch die Mehrzahl der Detektoren  $D_i$  kann die hier gezeigte Vorrichtung mehrere Interferenzsignale gleichzeitig detektieren und unmittelbar anschliessend an die Detektion gleichzeitig elektronisch aufarbeiten. Hierdurch wird die für ein 2- bzw. 3-dimensionales Tomogramm notwendige Zeitdauer erheblich verkürzt, verglichen mit einer Verwendung von Vorrichtungen betreffend der in **Figuren 1, 7, 8, 9, 10 und 11** gezeigten Blockschaltbilder.

Das Michelson-Interferometer **123** weist eine Strahlungsquelle **127** mit kleiner Kohärenzlänge **LC** auf, welche hier beispielsweise vier punktiert dargestellte Strahlen **129a** bis **129d** aussendet. Die vier Strahlen **129a** bis **129d** werden mit einer Kollimationsoptik **128** parallel gerichtet und zu einem physikalischen Strahlteiler **130** geführt. Bei einem physikalischen Strahlteiler bleibt im Gegensatz zum geometrischen Strahlteiler der Bündelquerschnitt in beiden Teilbündeln so gross wie im einfallenden Bündel. Der Strahlteiler **130** teilt die parallelen Strahlen **129a** bis **129d** in zweimal vier Teilstrahlen **131a** bis **131d** und **132a** bis **132d** auf, wobei die Teilstrahlen **131a** bis **131d** im Referenzzweig **133** und die Teilstrahlen **132a** bis **132d** im Objektzweig **135** des Interferometers **123** laufen.

Die Teilstrahlen **132a** bis **132d** durchlaufen einen wellenlängenselektiven, geometrischen Strahlteiler **137** und dann eine Fokussieroptik **139**. Anstelle des wellenlängenselektiven, geometrischen Strahlteilers **137** kann auch ein polarisationsselektiver, geometrischer verwendet werden. Mit der Fokussieroptik **139** werden die Teilstrahlen **132a** bis **132d** auf einen linear bewegten Spiegel **140** als Wegvariationseinheit fokussiert. Die kontinuierliche lineare Bewegung des Spiegels **140** erfolgt parallel zur Richtung der Achsen der parallel gerichteten Teilstrahlen **132a** bis **132d**, also in Richtung der optischen Achse des Referenzzweiges **133**. Anstelle des Spiegels **140** kann selbstverständlich auch die in **Figur 2** dargestellte Wegvariationseinheit verwendet werden. Die Teilstrahlen **132a** bis **132d** passieren den Strahlteiler **137**, während eine Strahlung **141** des Michelson-Interferometers **124**, wie unten beschrieben, von diesem zum Spiegel **140** reflektierend umgelenkt wird, da sie zu den Teilstrahlen **132a** bis **132d** entweder eine andere Wellenlänge oder eine andere Polarisationsrichtung hat.

Die zueinander parallelen Teilstrahlen **131a** bis **131d** werden mit einer Fokussieroptik **143** im Objektzweig **135** des Interferometers **123** auf bzw. in den auszumessenden Gegenstand **144** fokussiert. Die vom Gegenstand **144** und vom Spiegel **140** rückreflektierten Strahlen werden im Strahlteiler **130** überlagert und als vier zueinander parallele Strahlen **145a** bis **145d** zu den Detektoren  $D_i$  durch eine fokussierende Detektoroptik **147** in der

Detektoranordnung 125 gesandt. Von jedem der Detektoren  $D_i$  wird nur dann ein Interferenzsignal mit der Strahlung der Strahlungsquelle 127 erzeugt, wenn in dem betreffenden Strahl 145a, 145b, 145c bzw. 145d die optische Weglänge im Referenzzweig 133 des Interferometers 123 (gemessen vom Strahlteiler 130 bis zum Spiegel 140 und zurück) und  
5 die optische Weglänge im Objektzweig 135 des Interferometers 123 (gemessen vom Strahlteiler 130 bis zum Ort der Reflexion im Gegenstand 144 und zurück) sich um höchstens eine Distanz unterscheiden, die kleiner oder gleich der Kohärenzlänge der Strahlung der Strahlungsquelle 127 ist. Ein Polarisationskontroller kann beispielsweise in den Referenzzweig 133 oder in den Objektzweig 135 des Interferometers 123 eingefügt sein, um die  
10 Intensität des Interferenzsignales auf den Detektoren  $D_i$  zu erhöhen. Die Messsignale der Detektoren  $D_i$  werden dann durch parallele Funktionseinheiten aufbereitet.

In Figur 14 ist beispielsweise eine eindimensionale Detektionsanordnung 125 mit vier Detektoren  $D_1$  bis  $D_4$  dargestellt. Die zu den Funktionseinheiten gehörenden Baugruppen können ein elektronischer Verstärker, ein elektronisches Bandpassfilter, ein elektronischer Gleichrichter und ein Tiefpassfilter sein. Die an den Ausgängen der Funktionseinheiten in analoger Form vorliegenden aufbereiteten elektrischen Signale werden in einem Analog-zu-digital-Konverter 149 digitalisiert. Die digitalisierten Signale werden dann in einer Datenerfassungseinheit 150 eingelesen. Die Koordinate  $x$  eines Punktes im Gegenstand 144, von dem ein Interferenzsignal stammt, wird eindeutig bestimmt durch die Lage  
20 der betreffenden Detektionseinheit  $D_i$ .

Das andere zweite Michelson-Interferometer 124 hat einen Monomode-Faserkoppler 151. In diesen Koppler 151 wird mit einer Monomodefaser 153 eine Strahlung grosser Kohärenzlänge HC von einer Strahlungsquelle 154 eingekoppelt. Der Faserkoppler 151 teilt hier etwa zu gleichen Teilen die Strahlungsintensität in zwei Zweige 155 und 156  
25 auf. Die Strahlung des Zweiges 155 verläuft zunächst in einer Monomodefaser 157 und einem Polarisationskontroller 160. Nach dem Polarisationskontroller 160 endet die Faser 157; die am Ende austretende Strahlung wird auf eine Kollimationsoptik 161 geführt. Die kollimierte Strahlung 141 wird dann, wie in Figur 14 strichpunktiert angedeutet ist, auf den Strahlteiler 137 geführt und wird dann, da sie entweder eine andere Wellenlänge oder eine  
30 andere Polarisationsrichtung als die Strahlung der Quelle 127 hat, vom Strahlteiler 137 umgelenkt. Diese umgelenkte Strahlung passiert dann die Fokussieroptik 139, wird vom bewegten Spiegel 140 rückreflektiert und gelangt dann wieder über den Strahlteiler 137, die Optik 161 in die Faser 157, den Polarisationskontroller 160 passierend, in den Koppler 151.



Im Koppler **151** wird diese vom kontinuierlich linear bewegten Spiegel **140** rückreflektierte Strahlung einer Strahlung überlagert, welche vom Koppler **151** in den Zweig **156** eingekoppelt wurde und an dessen bevorzugt verspiegeltem Faserende **164** rückreflektiert worden ist. Die überlagerte interferierende Strahlung wird vom Koppler **151** über eine Faser **165** zu einer Detektionseinheit **166** geführt. In der Detektionseinheit **166** wird nur dann ein Interferenzsignal der Strahlung mit einer grossen Kohärenzlänge (HC) von der Strahlungsquelle **154** erzeugt, wenn die optische Weglänge im Zweig **155** (gemessen vom Faserkoppler **151** via Strahlteiler **137** bis zum Spiegel **140** und zurück) und die optische Weglänge im Zweig **156** des Interferometers **124** (gemessen vom Faserkoppler **151** bis zum Faserende **164** und zurück) sich um höchstens eine Distanz unterscheiden, die kleiner oder gleich der Kohärenzlänge der Strahlung (HC) der Strahlungsquelle **154** ist.

Anstelle des Faserkopplers **151** kann auch ein physikalischer Strahlteiler analog zum Strahlteiler **130** verwendet werden, wobei dann jeweils am Koppler die Strahlung aus den Fasern ausgekoppelt werden muss.

Das Interferenzsignal wird in der Detektionseinheit **166** aufbereitet, welche beispielsweise neben einem Photodetektor einen elektronischen Verstärker, ein elektronisches Bandpassfilter, einen elektronischen Komparator und einen elektronischen Zähler hat. Die derart ausgebildete Detektionseinheit **166** ist beispielsweise in der Lage, jedem Wellenberg oder Wellental des Interferenzsignales eine natürliche Zahl zuzuordnen. Die Differenz der zwei natürlichen Zahlen, die zwei Wellenbergen zugeordnet werden, ergibt die Anzahl der Wellenberge  $N$ , die zwischen den zwei Wellenbergen vorhanden sind. Die örtliche Distanz zwischen den beiden Wellenbergen ergibt sich aus  $N$  multipliziert mit der halben Wellenlänge der Strahlung der Strahlungsquelle **154**. Die erreichbare Genauigkeit einer solchen Distanzmessung beträgt eine halbe Wellenlänge der Strahlung der Strahlungsquelle **154**. Durch eine Interpolation der Schwingungsperioden des Interferenzsignales der Strahlung der Strahlungsquelle **154** kann zudem erreicht werden, dass eine Distanzmessung mit einer Genauigkeit unterhalb der halben Wellenlänge durchführbar ist. Die am Ausgang der Detektionseinheit **166** bevorzugt digital anliegenden Signale werden zur Datenerfassungseinheit **150** geführt. Diese eingelesenen digitalisierten Signale, die natürlichen Zahlen entsprechen, werden den von den Detektoren  $D_i$  des Interferometers **123** gelieferten Signalen zugeordnet, wodurch eine Tiefenzuordnung (Koordinate  $z$ ) im Gegenstand **144** erfolgt.

Mit einer dem Blockschaltbild von **Figur 14** entsprechenden Vorrichtung mit zwei gekoppelten Interferometern **123** und **124** wird durch das oben beschriebene Vorgehen ein Reflektivitätsverlauf der Strahlung kleiner Kohärenzlänge im Gegenstand **144** als Funktion der Koordinaten  $z$  und  $x$  zu einem bestimmten Zeitpunkt und einem vorgegebenen Koordinatenwert  $y$  gemessen. Soll der Reflektivitätsverlauf als Funktion von  $z$ ,  $x$  und  $y$  zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessen werden, kann anstelle der linearen Detektoranordnung **125** ein zwei-dimensionales Detektorarray verwendet werden. Die Strahlungsanordnung der aus der Strahlungsquelle **127** austretenden Strahlen ist dann derart aufzuweiten, dass sämtliche Detektoren bestrahlt werden.

Soll der Reflektivitätsverlauf als Funktion von  $z$ ,  $x$ ,  $y$  und der Zeit  $t$  gemessen werden, muss das beschriebene Messverfahren zu unterschiedlichen Zeitpunkten wiederholt werden. Auch in diesem Fall wird, wie bereits vorgängig beschrieben, eine analoge Weglängenvariation vorgenommen. Auf einem Monitor **167** kann der Reflektivitätsverlauf als Funktion der Koordinaten  $z$ ,  $x$  oder  $z$ ,  $y$  visualisiert werden. Mit wiederholten Messungen wird auf dem Monitor der Reflektivitätsverlauf als Funktion von  $z$ ,  $x$ ,  $t$  und/oder  $z$ ,  $y$ ,  $t$  visualisiert.

Ein Blockschaltbild zu einer Ausführungsvariante der mit dem Blockschaltbild in **Figur 14** dargestellten Vorrichtung zeigt **Figur 15**. Anstelle einer einzigen kurz-kohärenten Strahlungsquelle **127** wird eine Anordnung **169** von mehreren kurz-kohärenten Strahlungsquellen  $LC_i$  in einem Michelson- Interferometer **172** verwendet, wobei  $i$  von 1 bis  $n$  läuft. Es kann hierzu eine Multikern-Faser verwendet werden, die mehrere mit einem aktiven Medium dotierte Kerne (Cores) enthält, oder ein im Lumineszenzbetrieb arbeitendes Diodenarray. Das Michelson-Interferometer **172** ist bis auf die Anordnung **169** und eine unten erwähnte Kollimationsoptikanordnung **173** analog zum Interferometer **123** aufgebaut. In **Figur 15** ist ein Beispiel mit 4 kurz-kohärenten Quellen gezeigt. Punktiert dargestellt sind die vier zueinander parallelen Strahlen der vier Strahlungsquellen  $LC_1$  bis  $LC_4$ . Anstelle der Kollimationsoptik **128** wird hier eine Kollimationsoptikanordnung **173** verwendet. In je einem der Detektionssysteme  $D_i$  wird dann nur jeweils ein Interferenzsignal eines Strahls der Strahlungsquelle  $LC_i$  erzeugt, wenn für die Strahlung der Strahlungsquelle  $LC_i$  die optische Weglänge eines zum Referenzzweig **133** analog ausgebildeten Referenzzweigs **170** und die optische Weglänge eines zum Objektzweig **135** analog ausgebildeten Objektzweigs **171** sich um höchstens eine Distanz unterscheiden, die kleiner oder gleich der Kohärenzlänge

der Strahlung der Strahlungsquelle  $LC_i$  ist. Ein Michelson-Interferometer mit der hochkohärenten Strahlungsquelle arbeitet analog zu dem in **Figur 14** dargestellten.

Mit einer Vorrichtung gemäss dem Blockschaltbild in **Figur 15** ist ein gleichzeitiges Ausmessen von verschiedenen im Gegenstand liegenden Punkten möglich.

5        In **Figur 16** wird eine mögliche Ausführung mehrerer kurz-kohärenter Strahlungsquellen gezeigt, die in das Michelson-Interferometer **172** eingekoppelt werden können. Es handelt sich dabei um eine Faser **175**, die hier aus beispielsweise sieben Faserkernen (Cores) **177** besteht, die von einer inneren Umhüllung **179** (Cladding) und einer äusseren Umhüllung **181** umgeben sind. Von den sieben Faserkernen **177** sind sechs in einem Kreis  
10        und der siebte in der Mitte angeordnet.

Andere geometrische Anordnungen sind ebenfalls möglich, wie z.B. dreieckig, rechteckig, vieleckig. Die Faserkerne **177** sind mit einer Verbindung dotiert, die beim Bestrahlen mit einer geeigneten Pumplichtstrahlung eine breitbandige Strahlung emittiert. Es können beispielsweise Erbium, Neodymium oder Ytterbium dotierte Faserkerne verwendet  
15        werden.

Eine dotierte doppelt ummantelte Multikern-Faser wird in bevorzugter Weise von einem Diodenlaser-Array gepumpt. Die in der Ummantelung geführte optische Anregung (Pumplichtstrahlung) führt zur Erzeugung einer breitbandigen Strahlung in den Faserkernen. Die Faserlänge sowie die Konzentration der Dotierung ist geeignet zu wählen. Es wird  
20        hierdurch eine zwei-dimensionale Verteilung von breitbandigen Emittlern erzeugt.

Um die Pumpstrahlung und die Strahlung der einzelnen kurz-kohärenten Quellen optimal zu führen, muss der Brechungsindex der Faserkerne grösser sein als derjenige sowohl der äusseren als auch der inneren Ummantelung. Es muss der Brechungsindex der inneren Ummantelung grösser sein als derjenige der äusseren Ummantelung.

25        Um eine Ortsauflösung im Interferometer **172** nicht zu beeinträchtigen, müssen einerseits die Abstände zwischen benachbarten Faserkernen genügend gross gewählt werden, so dass kein Energieaustausch zwischen ihnen stattfinden kann, und andererseits müssen deren Durchmesser ausreichend klein gewählt werden, damit jeder Emitter im transversalen Grundmode oszilliert. Durch die optionale Behandlung der Faserenden (Abwinkelung und/oder antireflektive Beschichtung) und dem optionalen Einsatz eines in die  
30        Faserkerne eingeschriebenen wellenlängenselektiven Gitters werden die Frequenzspektren und die Intensitäten der breitbandigen Strahlungsemitter bestimmt. Allgemein gespro-

chen kann die beschriebene Pumpkonfiguration dazu verwendet werden, eine transversale Multimodestrahlung, die zum Beispiel ein Diodenlaser-Array abgibt, in mehrere transversale Monomodestrahlungen umzuwandeln.

Es gibt Anwendungen, bei denen es von Vorteil ist, die eine örtliche Intensitätsverteilung über einem Strahlquerschnitt bzw. den Strahldurchmesser  $q_x$  auf einen zu bearbeitenden Gegenstand zu ermitteln, bevorzugt während der Bearbeitung zu ermitteln. Derartige Ermittlungen sind beispielsweise beim Erwärmen, Schneiden, Schweißen, Verdampfen, Abtragen von Materialien, insbesondere von Geweben mit Hilfe eines Laserstrahles von Vorteil.

Es lassen sich mit der oben beschriebenen Vorrichtung auch Distanzen  $g_x$  und somit auch Materialdicken beliebiger Oberflächenkonturen bestimmen, wobei hier jeweils auf die dabei auftretenden beiden Reflexionen abgestellt wird. Die mögliche Weglängenänderung, hervorgerufen mit der Weglängenvariationseinheit, muß entsprechend groß gewählt sein.

Als Beispiel wird hier aufgezeigt, wie ein Abstand  $g_x$  eines Gegenstand von der Auskopplungsoptik, hier das Ende einer Monomodefaser mit einem Kerndurchmesser  $B$ , sowie der Strahldurchmesser  $q_x$  der aus der Faser austretenden Strahlung auf dem Gegenstand bestimmbar ist. Für die Ermittlung des Strahldurchmessers  $q_x$  und des Abstands  $g_x$  wird eine erste Sammellinse im Abstand ihrer Fokusslänge  $h_1$  nach dem Ende der Monomodefaser aufgestellt. Eine zweite Sammellinse mit einer Fokusslänge  $h_2$  wird in einem Abstand  $g_1$  der ersten Linse nachgeschaltet. Zur Ermittlung des Strahldurchmessers  $q_x$  und des Abstands  $g_x$  gelten die nachfolgenden Beziehungen:

$$\text{für den Strahlquerschnitt } q_x = q_0 [1 + ((g_x - h_1 - g_1 - h_2)/z_0)^2]^{1/2}$$

$$\text{wobei } q_0 = B \cdot h_2/h_1 \text{ und } z_0 = \pi q_0^2/\lambda_{LA} \text{ und } \lambda_{LA} \text{ die Wellenlänge des "bearbeitenden"}$$

Lasers ist

für den Abstand  $g_x = h_1 + g_1 + h_2 + z_x$ , wobei  $z_x$  der Abstand des gewünschten Strahldurchmessers von der Strahltaile  $q_0$  ist. Die Einkopplung der Laserstrahlung  $\lambda_{LA}$  würde man ausgehend von einer Vorrichtung, deren Blockschaltbild **Figur 1** zeigt, dort mit einem vor dem Strahlungsleiterende **16** eingebrachten Faserkoppler vornehmen. Das dortige Linsensystem ist dann durch die beiden oben genannten Linsen zu ersetzen.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände (18, 83, 97), insbesondere deren Reflexionsprofile, wobei der Gegenstand (18, 83, 97) mit einem Strahl (7', 55, 73, 96, 113, 114) bestrahlt wird, dessen Strahlung ( $\lambda_{LC}$ ) eine kleine Kohärenzlänge hat, ein erster Teil dieser ersten Strahlung ( $\lambda_{LC}$ ) in einen eine periodische optische Laufzeitänderung aufweisenden Referenzzweig (5, 72, 93, 110) selbstreflektierend eingestrahlt, eine vom Gegenstand (18, 83, 97) rückreflektierte zweite Teilstrahlung der ersten Strahlung ( $\lambda_{LC}$ ) mit der ersten Teilstrahlung interferierend überlagert, kohärent detektiert und ein von der periodischen Laufzeitänderung ( $v_{scan}$ ) herrührender, eine erste Dopplerfrequenz ( $f_{Doppler, LC}$ ) enthaltender erster Signalteil ( $u_1$ ) erzeugt wird eine zweite Strahlung ( $\lambda_{HC}$ ) mit gegenüber der ersten Strahlung ( $\lambda_{LC}$ ) grossen Kohärenzlänge in einen dritten und vierten Teilstrahl aufgeteilt, der dritte Teilstrahl mit einer zur ersten Teilstrahlung ( $\lambda_{LC}$ ) gleichen periodischen Laufzeitänderung ( $v_{scan}$ ) beaufschlagt, ein reflektierter Strahlungsteil der dritten und vierten Strahlung ( $\lambda_{HC}$ ) interferierend überlagert, kohärent detektiert und ein von der periodischen Laufzeitänderung ( $v_{scan}$ ) herrührender, eine zweite Dopplerfrequenz ( $f_{Doppler, HC}$ ) enthaltender zweiter Signalteil ( $u_2$ ) erzeugt wird und aus dem ersten zusammen mit dem zweiten Signalteil ( $u_1, u_2$ ) die optischen Eigenschaften ermittelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dopplerfrequenzen ( $f_{Doppler, LC}, f_{Doppler, HC}$ ) des ersten und des zweiten Signalteils ( $u_2$ ) aneinander angeglichen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dopplerfrequenzen ( $f_{Doppler, LC}, f_{Doppler, HC}$ ) elektrisch, insbesondere unter Verwendung eines spannungsge- steuerten Oszillators (VCO) oder optisch, insbesondere unter Verwendung von Disper- sion oder bevorzugt mittels zusätzlicher dispersiver Elemente im gemeinsamen Referenzzweig (5, 72, 93, 110) aneinander angeglichen werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die eine grosse Kohärenzlänge aufweisende zweite Strahlung ( $\lambda_{HC}$ ) durch Wellenlängenselektion aus der eine kleine Kohärenzlänge aufweisenden ersten Strahlung ( $\lambda_{LC}$ ) erzeugt wird.
- 5
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der den Gegenstand (18, 83, 97) bestrahlende Strahl (7', 55, 73, 96, 113, 114) diesen abscan-
- 10
6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 zur Messung optischer Eigenschaften transparenter und/oder diffusiver Gegenstände (18, 83, 97), insbesondere deren Reflexionsprofile, mit zwei gekoppelten Interferometern, wobei das erste Interferometer eine erste Strahlungsquelle (LC, S) mit kleiner Kohärenzlänge sowie einen kohärent detektierenden ersten Strahlungsdetektor (PA<sub>1</sub>) auf-
- 15
- weist und in seinem Messzweig (PC<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, 7, 7'; 55,; 73, 80, 81, 82; 113; 114, 115) der Gegenstand (18, 83, 97) anbringbar sowie in seinem Referenzzweig (9, WDM, 11, L<sub>1</sub>, 5'; 59, 72; 91, 93, 94; 110) eine optische Weglängenvariationseinheit (15, 79, 95) angeordnet ist und das zweite Interferometer eine zweite Strahlungsquelle (HC, S) mit ge-
- 20
- genüber der ersten Strahlungsquelle (LC) grosser Kohärenzlänge sowie einen kohärent detektierenden zweiten Strahlungsdetektor (PA<sub>2</sub>) aufweist und dessen einer Interferometerzweig (PC<sub>2</sub>, 17, WDM, 11, L<sub>1</sub>, 5'; 59, 72; 91, 93, 94; 110) ebenfalls die Weglängenvariationseinheit (15, 79, 95) enthält.
- 25
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kohärenzlänge der zweiten Strahlungsquelle (HC, S) der Differenz der optischen Weglängen zwischen dem anderen, die Weglängenvariationseinheit (15, 79, 95) nicht enthaltenden Interferometerzweig (23) des zweiten Interferometers und dem Messzweig (PC<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, 7, 7'; 55,; 73, 80, 81, 82; 113; 114, 115) plus optischer Dicke des Gegenstands (18, 83, 97)

entspricht, damit bei der Messung keine störenden Echos weiterer Grenzflächen entstehen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Weglängen-  
variationseinheit (**15, 79, 95**) derart ausgebildet ist, dass sich eine periodische, zeitlich  
ändernde optische Weglängenänderung zur Erzeugung von Dopplerfrequenzen  
( $f_{\text{Doppler, LC}}$ ,  $f_{\text{Doppler, HC}}$ ) bei der Strahlung ( $\lambda_{\text{HC}}$ ,  $\lambda_{\text{LC}}$ ) der beiden Interferometer ergibt.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **gekennzeichnet durch** eine Einheit  
(PLL, OA, PS, VCO) zur Angleichung der mit der Weglängenvariationseinheit (**15, 79,**  
**95**) erzeugbaren Dopplerfrequenzen ( $f_{\text{Doppler, LC}}$ ,  $f_{\text{Doppler, HC}}$ ) der beiden Interferometer-  
strahlungen ( $\lambda_{\text{HC}}$ ,  $\lambda_{\text{LC}}$ ).
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der die  
Weglängenvariationseinheit (**15**) nicht enthaltende Interferometerzweig ein wellenlän-  
genselektives Filter (IF) oder einen wellenlängenselektiven Reflektor (**115**) enthält.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die  
erste und/oder die zweite Strahlungsquelle (LC, HC; S) sichtbare Strahlung emittiert,  
damit deren Strahlung zur Visualisierung des Messorts (**18, 83, 97**) verwendbar ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der  
erste Strahlungsdetektor eine Detektoranordnung (**125**) mit mehreren nebeneinander  
angeordneten kohärent detektierenden Detektorelementen (Di) sowie eine Fokussie-  
reinheit (**143**) zur Fokussierung der Strahlung in den Gegenstand (**144**) aufweist,

damit mehrere örtlich getrennte optische Signale gleichzeitig detektierbar sind, um ein zwei- bzw. dreidimensionales Tomogramm des Gegenstands (144) zu erhalten.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Strahlungs-  
5 quelle mehrere örtlich voneinander getrennte Strahlungsquellen kleiner Kohärenzlänge hat, damit räumliche Reflexionseigenschaften des Gegenstands (144) ermittelbar sind.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die örtlich voneinander  
10 getrennten Strahlungsquellen kleiner Kohärenzlänge eine faseroptischen Strahlungs-  
quelle ist, welche eine äussere Umhüllung (181), eine innere Umhüllung (179) sowie  
mehrere mit einem laseraktiven Material dotierte Faserkerne (177) hat, wobei eine  
Pumplichtstrahlung in der inneren Umhüllung (179) und die mit der Pumplichtstrahlung  
erzeugbare kurzkohärente Strahlung in den einzelnen Faserkernen (177) führbar ist.



1/6

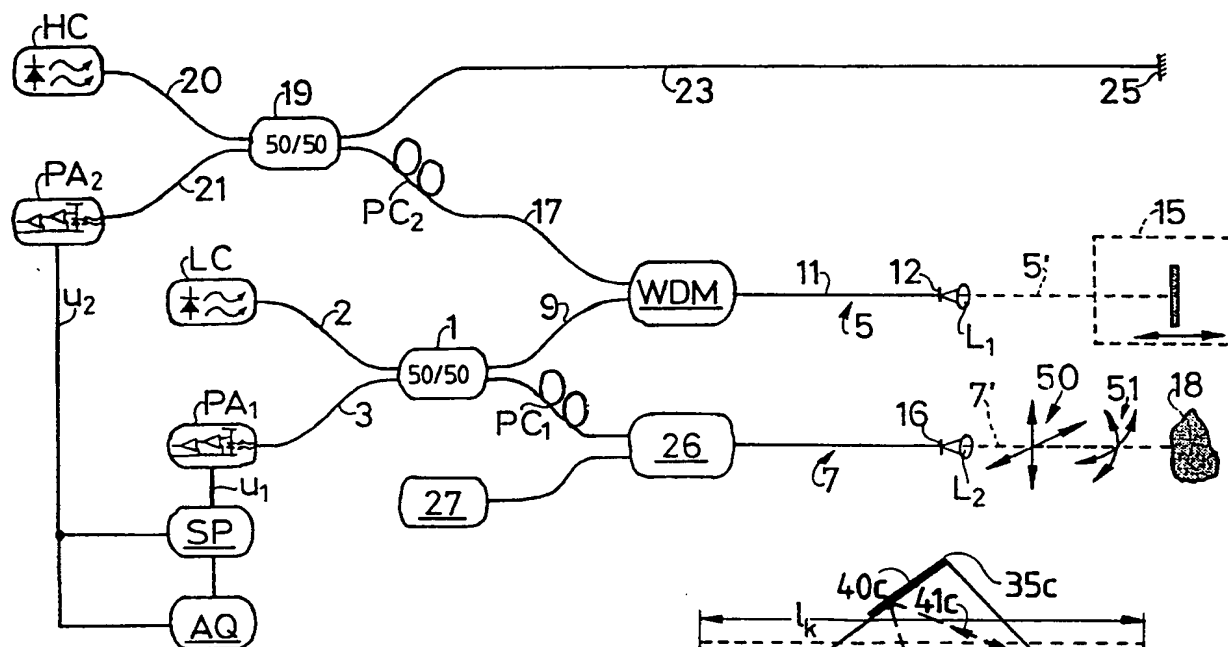


Fig. 1

Fig. 2

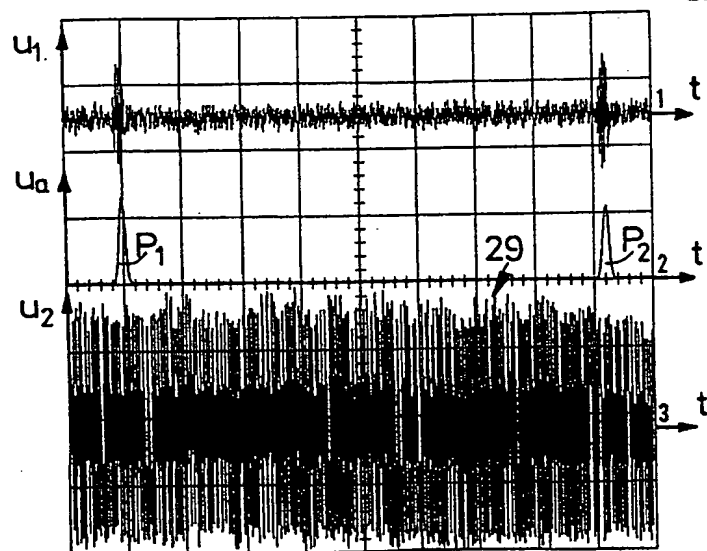
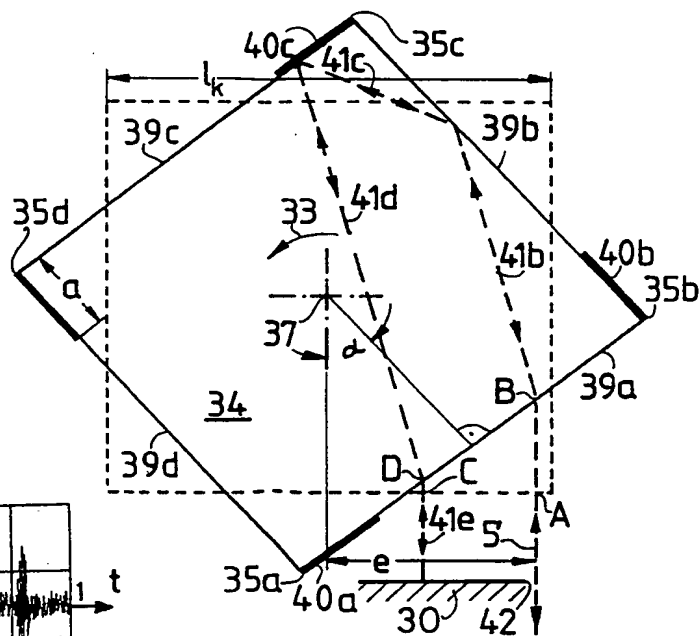


Fig. 5

2/6

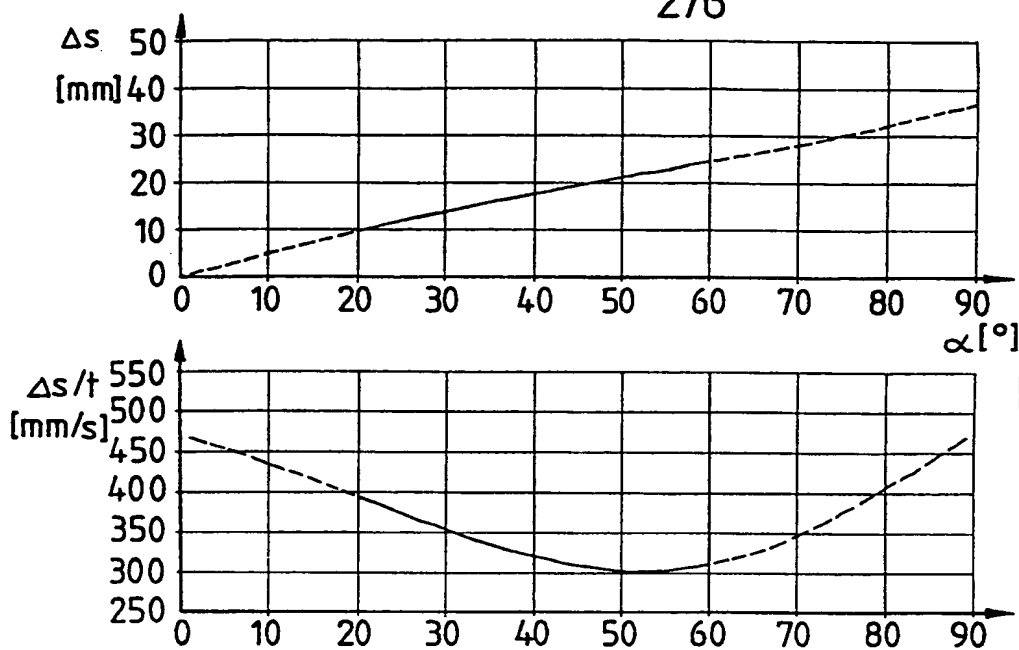


Fig. 3

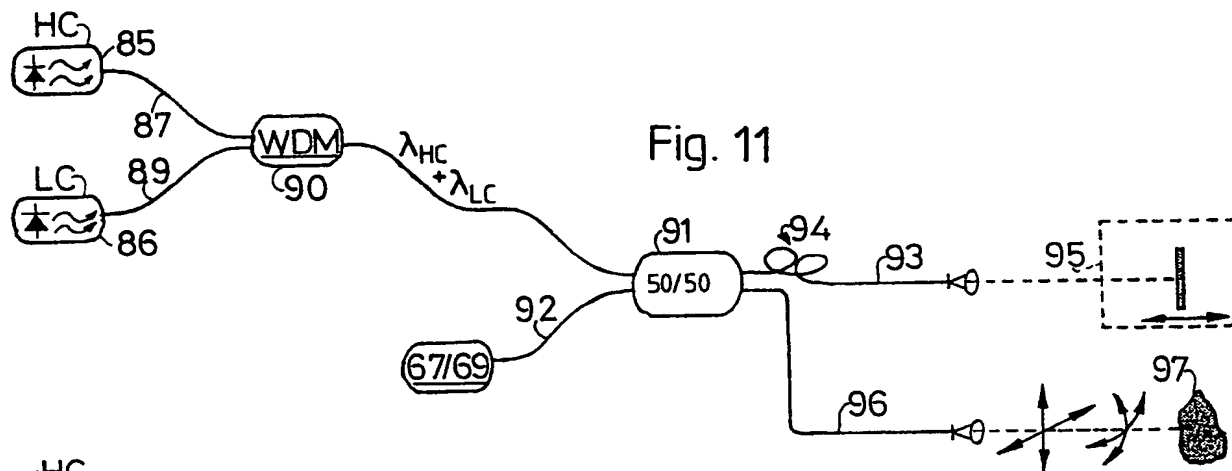


Fig. 11

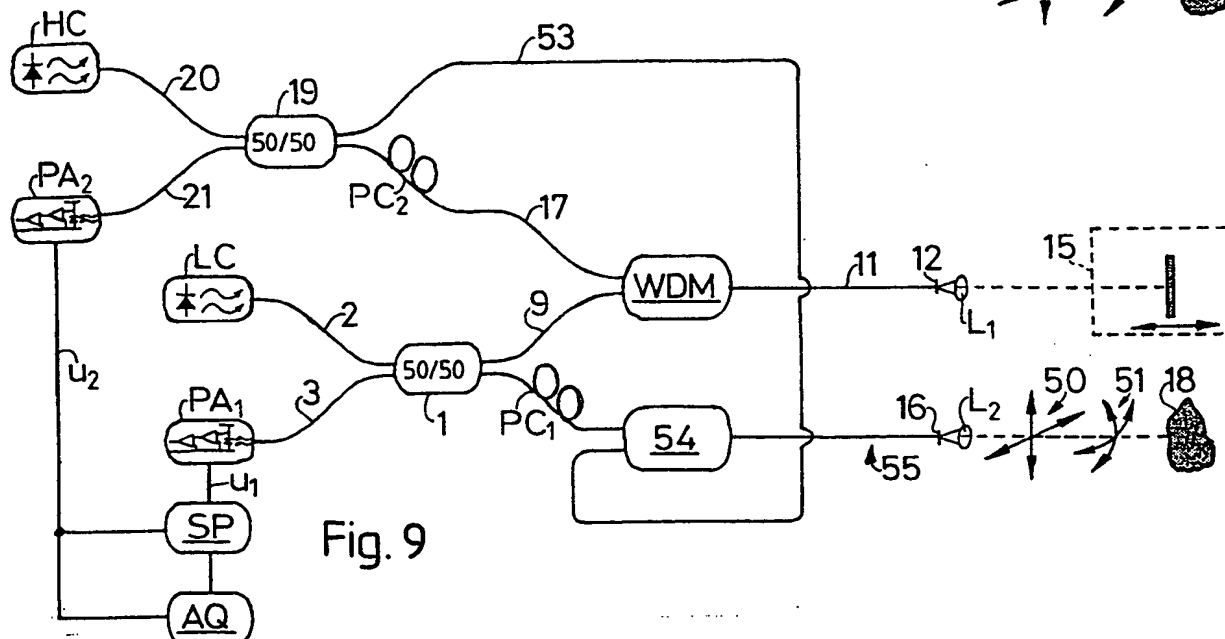


Fig. 9

3/6

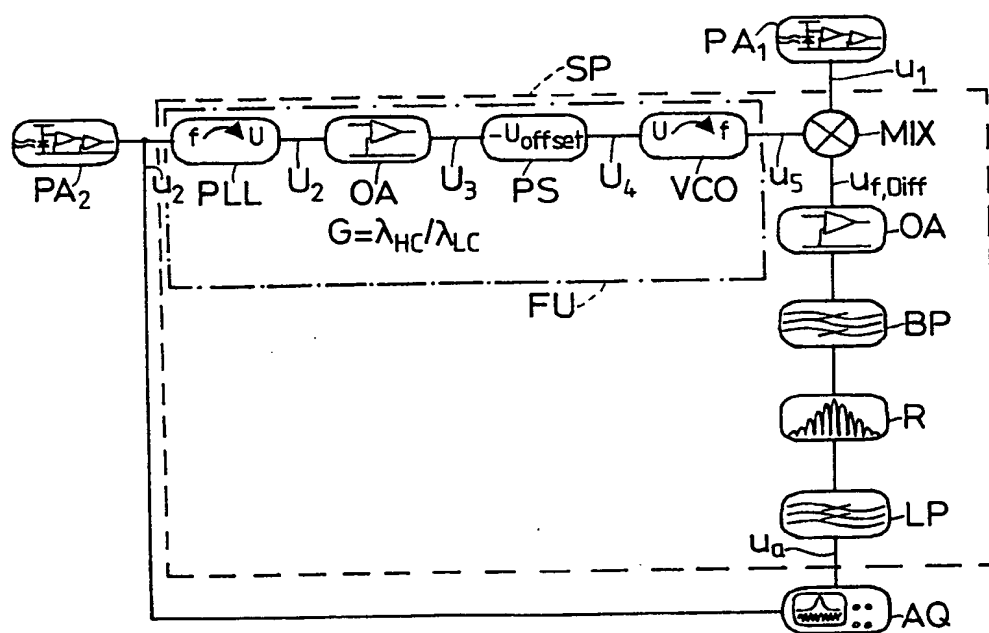
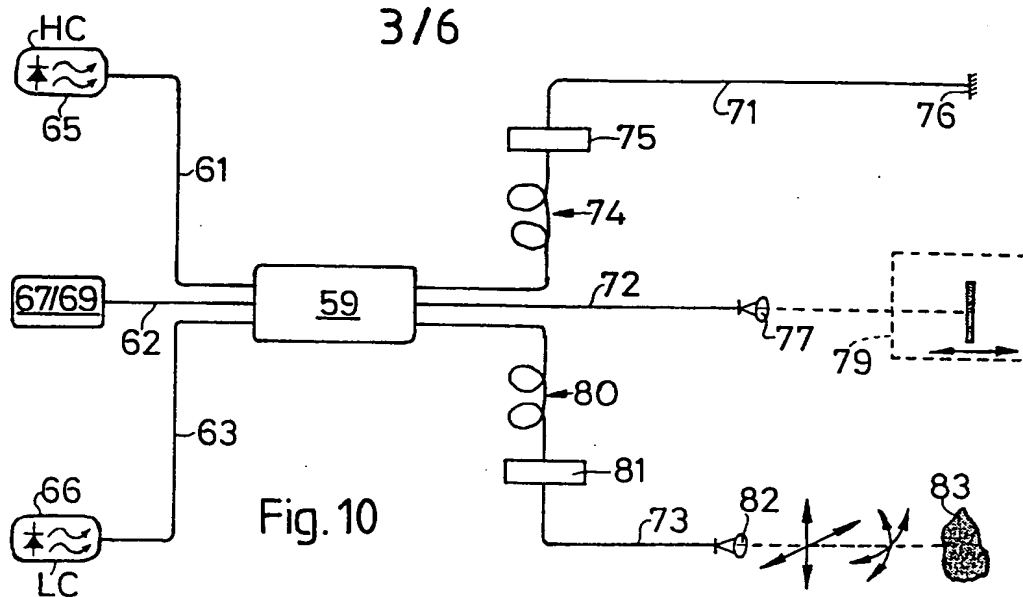


Fig. 12

4/16

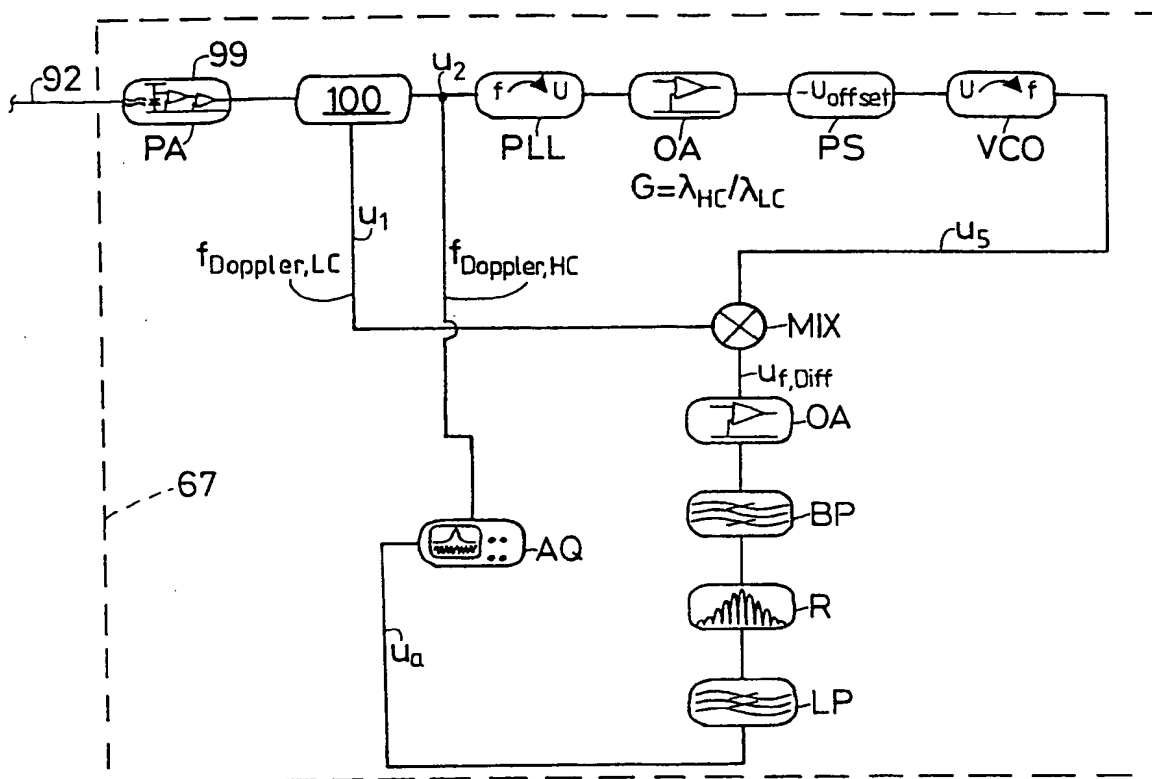
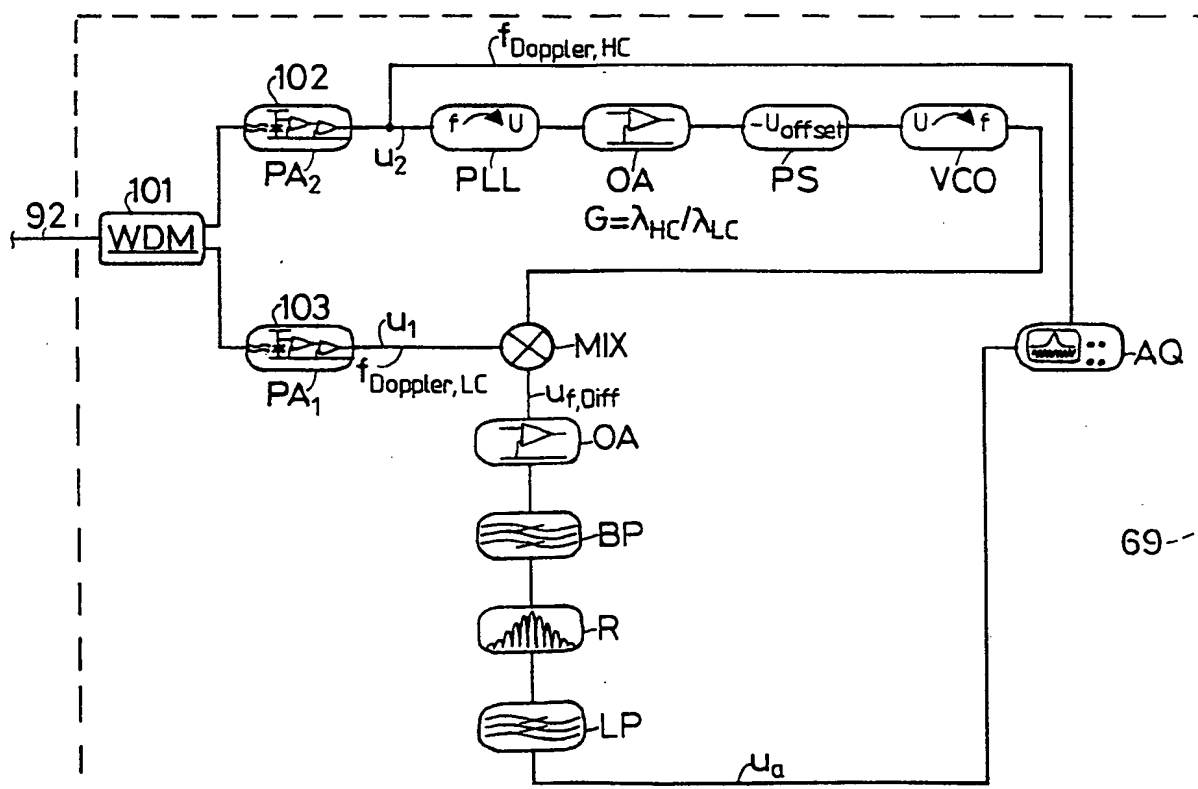


Fig. 13



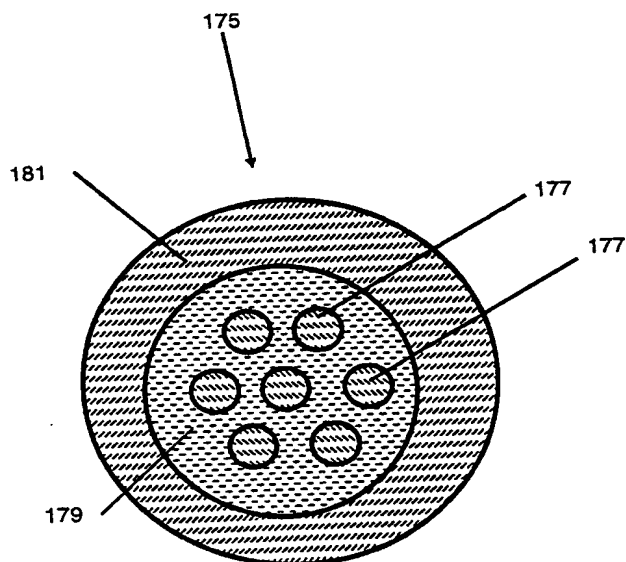


Fig. 16

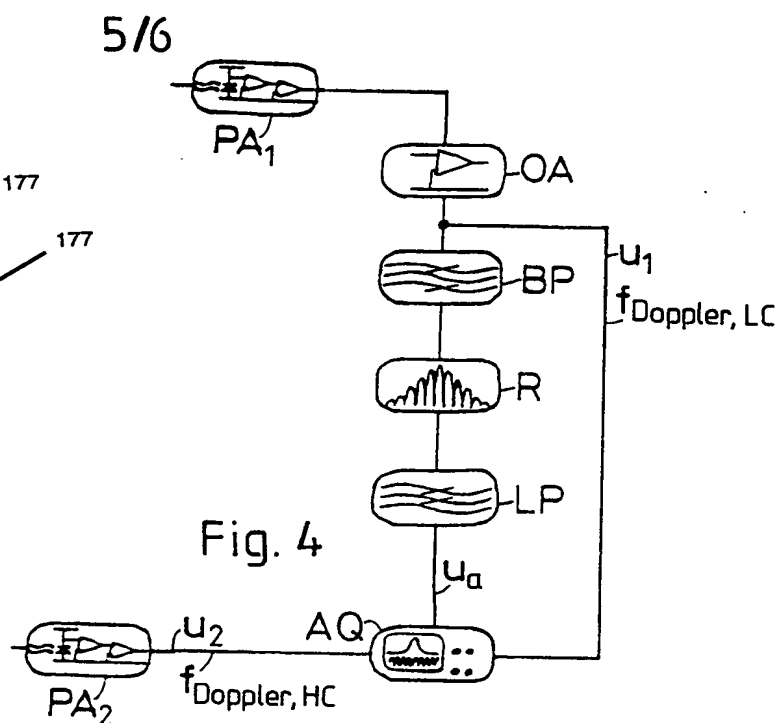


Fig. 4

Fig. 7

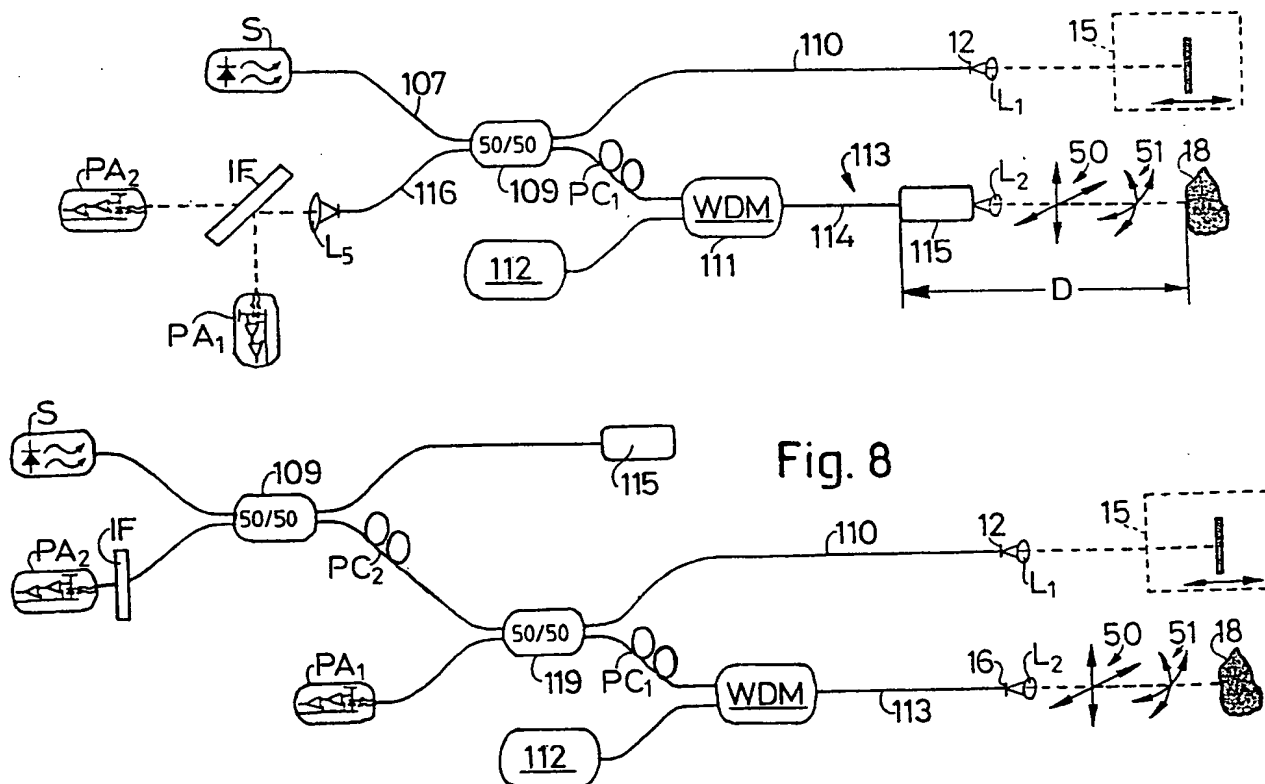
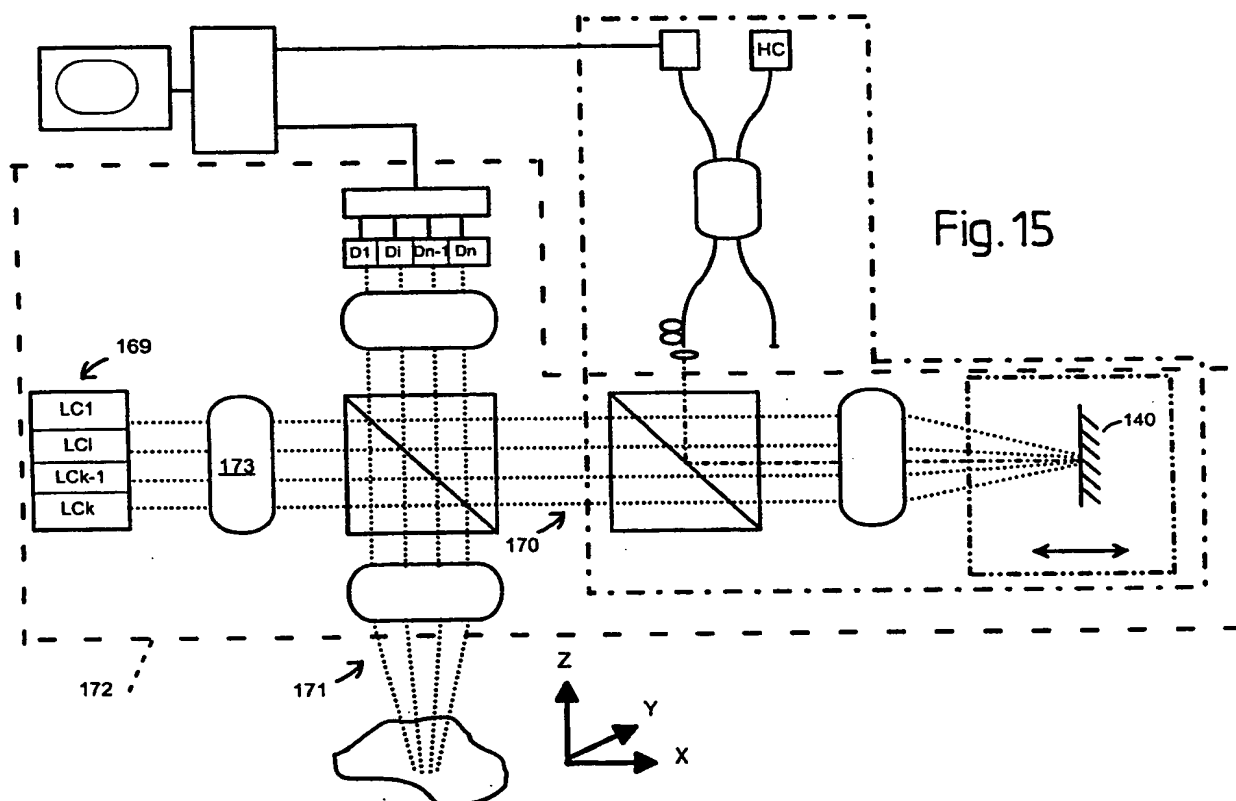
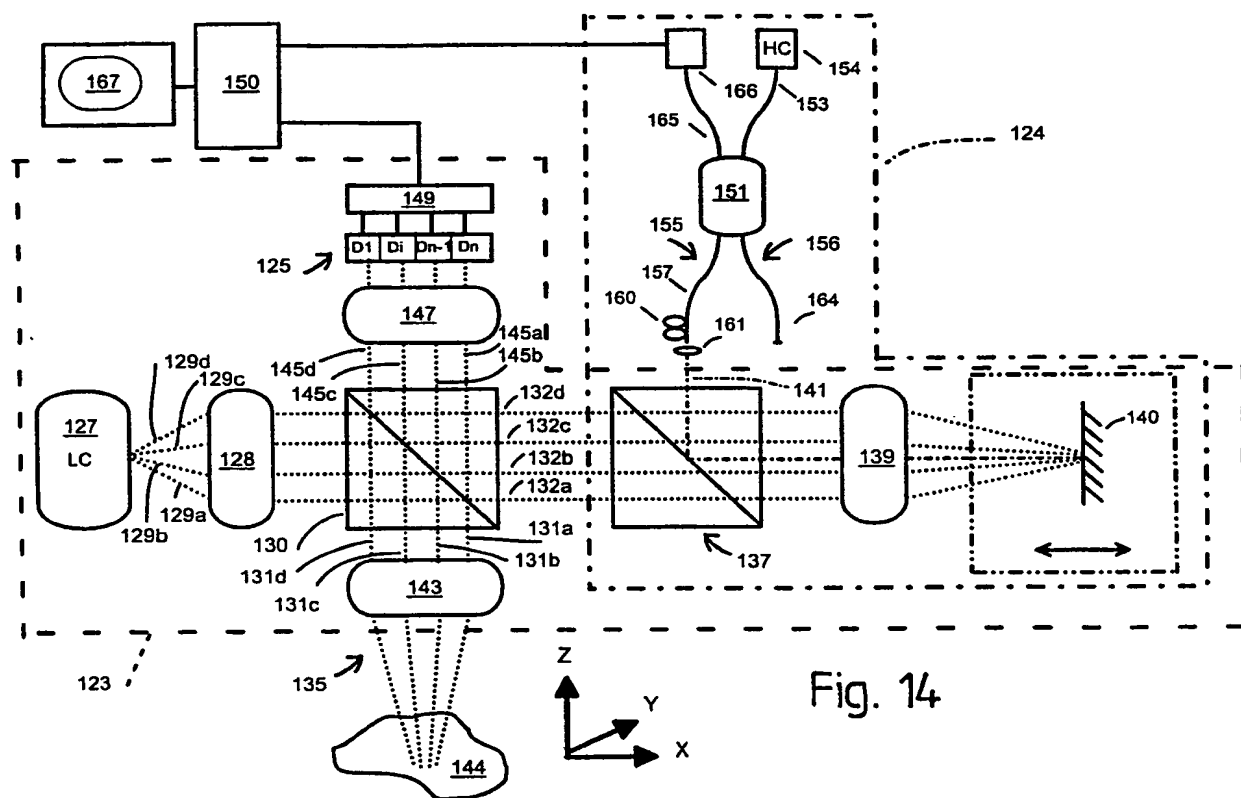


Fig. 8

6/6



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In national Application No

PCT/CH 98/00456

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 6 G01B9/02 G01N21/45

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01B G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 733 877 A (EASTMAN KODAK CO) 25 September 1996 see page 13, line 46 - page 15, line 2 see figure 16 -----	1,6,11, 12
Y	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ;CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7 November 1996 cited in the application see page 1, line 24 - page 2, line 27 -----	1,6,11, 12
A	US 4 869 593 A (BIEGEN JAMES F) 26 September 1989 see column 3, line 3 - column 4, line 35 -----	1,6
A	EP 0 137 946 A (PERKIN ELMER CORP) 24 April 1985 see claims 1-4 -----	1,6

☐

Further documents are listed in the continuation of box C.

☒

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 January 1999

Date of mailing of the international search report

22/01/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Krametz, E

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Ir. International Application No

PCT/CH 98/00456

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0733877 A	25-09-1996	US 5596409 A US 5659392 A CA 2169506 A JP 8271219 A	21-01-1997 19-08-1997 23-09-1996 18-10-1996
WO 9635100 A	07-11-1996	EP 0877913 A	18-11-1998
US 4869593 A	26-09-1989	NONE	
EP 0137946 A	24-04-1985	US 4787745 A JP 60064202 A	29-11-1988 12-04-1985



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In nationales Aktenzeichen

PCT/CH 98/00456

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 6 G01B9/02 G01N21/45

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01B G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 733 877 A (EASTMAN KODAK CO) 25. September 1996 siehe Seite 13, Zeile 46 - Seite 15, Zeile 2 siehe Abbildung 16	1,6,11, 12
Y	WO 96 35100 A (MERIDIAN AG ;CHAVANNE PHILIPPE (CH); SALATHE RENE PAUL (CH)) 7. November 1996 in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 1, Zeile 24 - Seite 2, Zeile 27	1,6,11, 12
A	US 4 869 593 A (BIEGEN JAMES F) 26. September 1989 siehe Spalte 3, Zeile 3 - Spalte 4, Zeile 35	I,6



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Januar 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

22/01/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Krametz, E

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In Nationales Aktenzeichen

PCT/CH 98/00456

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>o</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 137 946 A (PERKIN ELMER CORP) 24. April 1985 siehe Ansprüche 1-4 -----	1,6

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

In. :ionales Aktenzeichen

PCT/CH 98/00456

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0733877 A	25-09-1996	US 5596409 A US 5659392 A CA 2169506 A JP 8271219 A	21-01-1997 19-08-1997 23-09-1996 18-10-1996
WO 9635100 A	07-11-1996	EP 0877913 A	18-11-1998
US 4869593 A	26-09-1989	KEINE	
EP 0137946 A	24-04-1985	US 4787745 A JP 60064202 A	29-11-1988 12-04-1985